

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Energetická a materiálová bilance zbytku biomasy při těžbě dřeva

Autor:

Bronislav Lach

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Michalík, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Bronislav Lach**

Studijní program: B3909 Procesní inženýrství

Studijní obor: 2805R001 Chemie a technologie ochrany prostředí

Téma: **Energetická a materiálová bilance zbytku biomasy při těžbě dřeva**
Energy and Material Balance of Wood Mining Rests

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika biomasy a její vliv na ŽP
2. Současný stav těžby dřeva
3. Metody zpracování biomasy
4. Energetická a materiálová bilance
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

- PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha, 2004. 288 s.
- LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. Zdroje a využití energie. ČZU v Praze, 2007. 141 s.
- BERANOVSKÝ, Jiří; MURTINGER, Karel. Energie z biomasy. Brno, 2011. 94 s.
- KRÁL, Pavel; HRÁZSKÝ, Jaroslav; ŠRAJER, Jan; PROVAZNÍK, Michal. Les a dřevo – Zušlechťování biomasy štěpkováním a briketováním. Brno, 2012. 656 s.
- Hall DO, Rosillo-Calle F, Williams RH, Woods J. Biomass for energy: supply prospects. In: Johansson TB, Kelly H, Reddy AKN, Williams RH, editors. Renewable energy: sources for fuels and electricity. Washington, DC: Island Press, 1993.
- Hall DO. Biomass energy in industrialised countries—a view of the future. Forest Ecology and Management 1997
- The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. Goran Berndesa;, Monique Hoogwijkb , Richard van den Broekc. Received 22 October 2001; received in revised form 24 October 2002; accepted 28 October 2002

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Michalík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 30.04.2013

doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 5. Obsah BP |
| 2. Zásady pro vypracování BP | 6. Textová část BP |
| 3. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 7. Seznam použité literatury |
| 4. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | 8. Přílohy |

ad 1) Titulním listem je originál zadání BP, který student obdrží na své oborové katedře.

ad 2) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za titulním listem.

ad 3) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listě (student jej obdrží na své oborové katedře) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 4) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listě česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 5) Obsah BP se uvádí na zvláštním listě. Zahrnuje názvy všech očíslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 6) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání. BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman (nebo podobné) 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 8).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury.

Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 7) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 8) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

Nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

Uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

Dole: *Rok* *Jméno a Příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě.

IV.

Bakalářská práce, která neodpovídá těmto zásadám, nemůže být přijata k obhajobě. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2011/2012.

Ostrava 30. 11. 2011

Prof. Ing. Ludovít Dobrovský, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

Prohlášení

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- Byl jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše)

V Ostravě dne

Bronislav Lach

Obsah

1. ÚVOD	10
2. CHARAKTERISTIKA BIOMASY A JEJÍ VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	12
2.1 DEFINICE BIOMASY	12
2.2 ROZDĚLENÍ BIOMASY	12
2.3 DŘEVNÍ BIOMASA (DENDROMASA)	14
2.3.1 Definice dendromasy.....	14
2.3.2 Rozdělení dendromasy.....	14
2.3.3 Schéma úpravy a využití dendromasy	15
2.4 VLIV BIOMASY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	15
2.4.1 Emisní faktory spalování dendromasy	16
3. SOUČASNÝ STAV TĚŽBY DŘEVA	19
3.1 SOUČASNÝ STAV TĚŽBY DŘEVA V JEDNOTLIVÝCH ZEMÍCH SVĚTA A VE VYBRANÝCH ZEMÍCH EU	19
3.2 SOUČASNÝ STAV TĚŽBY DŘEVA V ČR	22
4. METODY ZPRACOVÁNÍ BIOMASY	25
4.1 TECHNOLOGIE ZPRACOVÁNÍ DENDROMASY V MÍSTĚ TĚŽBY	25
4.2 ÚPRAVA DENDROMASY NA ENERGETICKY VÝHODNÉ PRODUKTY	27
4.2.1 Štěpkování	27
4.2.2 Peletování.....	29
4.2.3 Briketování	30
5. ENERGETICKÁ A MATERIÁLOVÁ BILANCE	32
5.1 MATERIÁLOVÁ BILANCE DENDROMASY	37
5.2 ENERGETICKÁ BILANCE OB(D)	40
5.2.1 Energetická bilance spalování OB(D)	40
5.2.2 Energetická bilance zplyňování OB(D).....	42
5.2.3 Energetická bilance pyrolýzy OB(D)	43
5.3 ZPŮSOB VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE Z OB(D)	44
6. ZÁVĚR.....	49
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
8. SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ, TABULEK A ROVNIC	55
8.1 SEZNAM OBRÁZKŮ	55
8.2 SEZNAM GRAFŮ	55
8.3 SEZNAM TABULEK.....	56
8.4 SEZNAM ROVNIC	56
9. SEZNAM ZKRATEK.....	57

Anotace

Energetická a materiálová bilance zbytku biomasy při těžbě dřeva

V bakalářské práci jsem vysvětlil co je to biomasa, rozdělil ji na druhy, blíže popsal pojem dendromasa a zhodnotil její vliv na životní prostředí. Dále jsem určil množství odpadní dendromasy vzniklé těžbou dřeva v lesích České republiky a zpracoval přehled současného stavu těžby dřeva ve vybraných zemích Evropy a České republiky, který jsem graficky znázornil podle typu lesů a druhu stromů. Poté jsem uvedl způsob zpracování odpadní dendromasy vzniklé při těžbě dřeva a její přeměnu na energeticky výhodné tuhé biopaliva. V závěrečné části jsem se věnoval termochemickým metodám přeměny energie z odpadní dendromasy a způsobem výroby elektrické energie.

Klíčová slova: dendromasa, těžba dřeva, tuhá biopaliva, termochemické metody

Summary

Energy and material balance of wood mining rests

In the bechelors thesis i have explained what is biomass, divided by species, further described the term dendromass and assess its impact on the environment. In the next part i determine the amount of waste dendromass resulting from wood mining in the forest of the Czech Republic and i also worked overview of the current state of wood mining in selected European countries and the Czech Republic, which i graphically illustrated the type of forests and trees. Then i said the method of processing waste woody biomass resulting from the extraction of timber and its conversion to energy-efficient solid biofuels. The final section is devoted to methods of thermochemical conversion of energy from waste and woody biomass energy production technologies.

Keywords: dendromass, wood mining, solid biofuels, combustion

1. Úvod

Cílem mé bakalářské práce je zjistit, jaké množství OB(D) se vyprodukuje při těžbě dřeva v lesích ČR a následně porovnat současný stav těžby dřeva s vybranými státy EU. Dalším důležitým bodem tohoto tématu je popis metod zpracování OB(D), jejich úprava na energeticky výhodné produkty (tzv. tuhá biopaliva) a porovnání jejich cen s cenou fosilních paliv. Obecně jsem popsal proces spalování dřevní biomasy v tepelném kotli a vyjádřil množství vzniklé tepelné energie v závislosti na obsahu vlhkosti. Následně jsem uvedl způsob možné přeměny vyprodukované tepelné energie na elektrickou energii. V závěru jsem zhodnotil ekologické aspekty doprovázené při spalování dendromasy.

Tyto poznatky byly zpracovány pomocí učebních textů různých vysokých škol, zejména Lesnické a dřevařské fakulty Mendlovy univerzity v Brně. Jednotlivá data jsou získána z informačních a statistických serverů.

Množství OB(D) vzniklé při těžbě dřeva je odhadováno metodou velkoplošné těžby dřeva, jako jedna třetina (cca 33 %) z celkové hodnoty množství vytěženého dřeva. V okolí V okolí místě těžby dřeva se z důvodu zachování biodiverzity a přirozené regenerace, ponechává polovina (cca 50 %) vzniklé OB(D). Celková těžba dřeva má s přibývajícími roky v ČR, ale i ostatních zemích EU, vzhledem ze zvýšené poptávce dřeva jako tuhého biopaliva, rostoucí trend. Ve státech EU se stále vytěžené dřevo primárně používá pro výrobu dřevozpracující výrobu (stavebnictví, nábytkářství), avšak v Asii je vytěžené dřevo používáno hlavně jako zdroj tepelné energie, tedy jako palivo.

Energeticky využitelná OB(D) vzniklá těžbou dřeva se na místě zpracovává a ukládá na hromady pomocí harvestoru. Jednou z následujících metod postupu zpracování takto uložené OB(D) je metoda svazkování. Častěji se však zpracovává na místě těžby procesem štěpkování, kdy se zbytková klest zkrátí a nadrtí na požadovanou velikost. Vzniklým produktem je štěpka, která se používá buď jako přímé tuhé biopalivo, ale častěji se však upravuje na energeticky výhodnější produkty, kterými jsou dřevní pelety a brikety. Cena za 1 GJ dřevní štěpky je nejnižší ze všech druhů paliv, její nevýhodou je však nepraktická skladnost, způsobená nízkou objemovou hmotností.

Pro energetické zhodnocení energie obsažené v OB(D) na tepelnou se využívají suché metody konverze energie (spalování, zplyňování a pyrolýza). Pro menší producenty (domy vytápěné tepelnými kotli s nízkými až středními výkony, nebo menší kotelny) tepla se využívá spalovací proces. Pro velkovýrobce energie se využívá metoda zplyňování, kvůli ekologičtějšímu spalování a následné přeměně tepelné energie na elektrickou.

Spalování dendromasy je způsob termochemické přeměny akumulované sluneční energie v ní uložené, vedoucí ke vzniku tepla (exotermní reakce), které je následně možné generovat na elektrickou energii. Technická zařízení určená pro spalování se nazývají tepelné kotle. Spalování OB(D) v ohništích na místě těžby se kvůli riziku vzniku požárů a nemožné využitelnosti uvolněné tepelné energie nepoužívá. Teplo uvolněné při spálení jednoho kilogramu paliva se nazývá výhřevnost a závisí na něm účinnost spalovacího zařízení. Výhřevnost dendromasy je vysoce závislá na obsahu vody v ní obsažené. Elektrická energie z dendromasy se nejčastěji vyrábí metodou zplyňování, kdy je tuhé biopalivo za vysokých teplot přeměněno na dřevoplyn, který je po zchlazení a vyčištění, spalován v plynovém motoru s následnou generací elektrické energie.

Spalování dendromasy je vzhledem ke spalování fosilních paliv šetrnější, a to vzhledem k nízkému (téměř žádnému) obsahu síry, který vede ke vzniku nežádoucího oxidu siřičitého, způsobující tvorbu kyselých dešťů. Další výhodou je výrazně nižší koncentrace skleníkových plynů (CO , CO_2), než u spalování fosilních paliv, díky přirozenému koloběhu uhlíku.

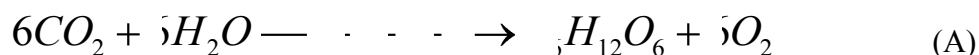
2. Charakteristika biomasy a její vliv na životní prostředí

2.1 Definice biomasy

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin, chov živočichů, organické odpady) [1]. BM je získávána buď záměrně jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni.

Popis biomasy je uveden v zákoně č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů [3].

BM můžeme pochopit i jako veškerou organickou hmotu vzniklou prostřednictvím fotosyntézy, nebo hmotu rostlinného a živočišného původu, která může být využita pro spalování či jiné přeměny s následným energetickým využitím [2]. Ve většině případů se tímto pojmem označuje rostlinná BM využitelná pro energetické účely jako obnovitelný zdroj energie. Rozumí se tím materiál vzniklý činností rostlin, eventuálně i živočichů v době geologicky současné (fosilní paliva jsou materiály, v nichž byla sluneční energie akumulována před dávnou dobou). Příklad vzniku organických látek v zelených rostlinách (fytomase) uvádí rovnice fotosyntézy [4]:



K vyprodukování 1 tuny biomasy je zapotřebí 0,6 tuny vody a 1,6 tun oxidu uhličitého, přičemž je do atmosféry uvolněno 1,2 tuny kyslíku [5].

2.2 Rozdělení biomasy

Biomasa je systematicky rozdělena dle přílohy č. 1 k vyhlášce č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy [6].

Biomasu lze podle druhu rozdělit do 4 základních skupin [7] :

1. Dendromasa (dřevní biomasa)
2. Fytomasa (bylinný původ a zemědělské plodiny)
3. Biomasa živočišného původu
4. Biologicky rozložitelné odpady organického původu

Energeticky využitelná biomasa se používá pro výrobu paliv a následně energie. Lze ji považovat za nashromážděné sluneční záření, sice s nízkou účinností, ale téměř s nulovými ztrátami při dlouhodobé akumulaci [8].

Pro získávání energie se využívá [1]:

A. Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu etylalkoholu), olejnin (z nich nejvýznamnější je řepka olejka, obecně řepka olejná pro výrobu surových olejů a metylesterů), energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny).

B. Biomasa odpadní

- Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.
- Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
- Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch.
- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny).
- Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, vršky stromů, větve, pařezy, šišky, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest.

2.3 Dřevní biomasa (dendromasa)

Dřevní biomasa (dendromasa) je jedním z nejvýznamnějších druhů tuhých biopaliv. Hlavním zdrojem je lesní hospodářství [9].

2.3.1 Definice dendromasy

Dendromasa je lesní biomasa, která je nejčastěji v podobě dřevního odpadu vzniklého při těžbě dřeva. Podle přílohy č.1 k vyhlášce č. 482/2005 Sb. je zařazena do skupiny č. 3 a tvoří ji primárně palivové dříví, odřezky a dřevo určené pro materiálové využití, biopaliva z nich vyrobená a vedlejší a zbytkové produkty jejich zpracování [6].

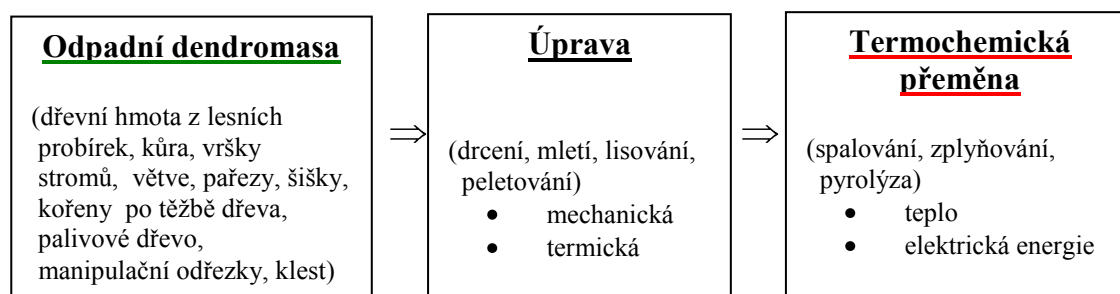
Jedná se o objem veškeré dřevní hmoty, kterou rostlina vytvořila za svůj život působením fotosyntézy, včetně hmoty nehroubí, společně s větvemi, pařezy a kořeny [10].

2.3.2 Rozdělení dendromasy

Dřevní biomasu lze rozdělit do několika kategorií [11]:

1. **Lesní a plantážové dřevo** - dřevo z lesů, parků a plantáží, rychle rostoucí dřeviny
 - upraveno redukcí velikosti částic, odkorněním, vysušením
2. **Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky**
 - chemicky neošetřené dřevo (např. zbytky z odkornění, řezání klád, nebo zbytky po redukcí velikosti, tvarování stromů, lisování
3. **Použité dřevo** - dřevní odpad od zákazníků a společností
 - chemicky ošetřené dřevo (konzervační prostředky, nátěry, nesmí obsahovat těžké kovy a halogenované organické sloučeniny)
4. **Směsi a příměsi** - úmyslné, nebo neúmyslné míchání dřevní biomasy

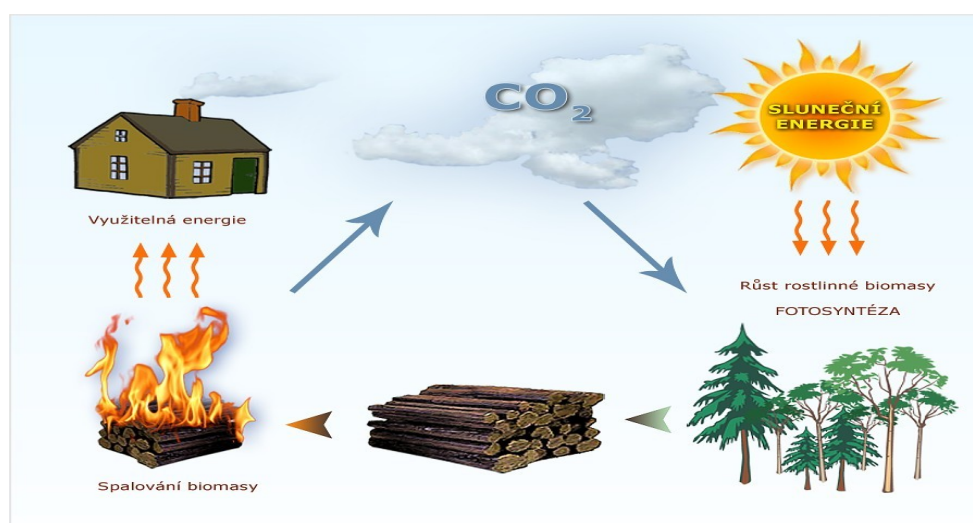
2.3.3 Schéma úpravy a využití dendromasy



2.4 Vliv biomasy na životní prostředí

Při těžbě a zpracování dřeva vzniká odpadní biomasa (dendromasa), která vyžaduje pečlivý postup. Pokud by se tento postup nedodržoval, mohlo by dojít k poškození lokálního ekosystému v místě těžby [12]. V případě spalování OBM(DM) na místě těžby dřeva, je potřeba stanovit emisní limity jednotlivých složek a tyto limity pozorovat, popř. regulovat snížením kvantity či kvality spalované OBM(DM).

Velkou předností OBM(DM) na rozdíl od fosilních paliv je to že neobsahuje síru, a tak během spalování nevzniká škodlivý SO_2 , který nepříznivě přispívá k tvorbě kyselých dešťů. Další obrovskou výhodou je její výrazně nižší koncentrace skleníkových plynů (CO , CO_2). I když při spalování dochází k jejich vzniku, tak se na rozdíl od skleníkových plynů vzniklých hořením fosilních paliv jejich množství v okolí těžby spalováním nenavýšuje, protože dochází k přirozenému koloběhu uhlíku. Vzniklé skleníkové plyny rostliny během svého růstu spotřebovávají a v podzemní části zadržují.

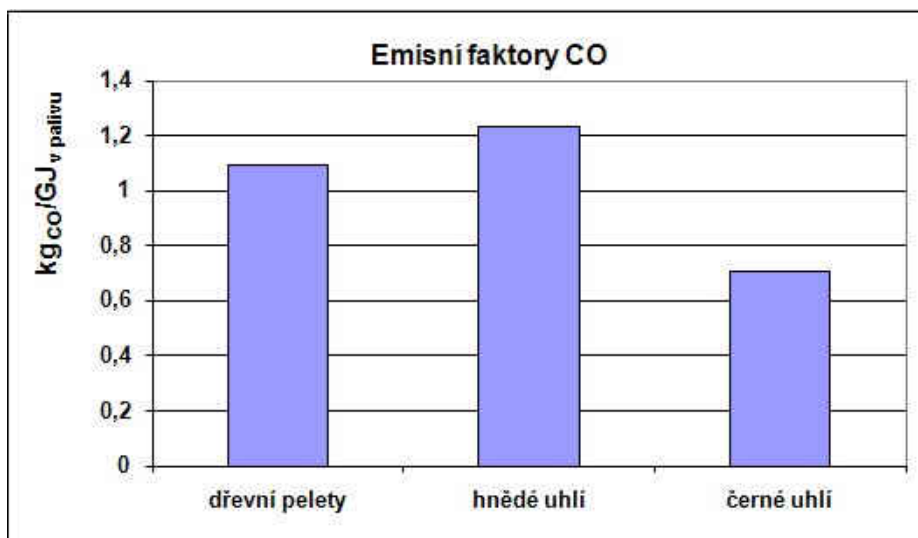


Obr. 1. Uzavřený cyklus uhlíku při udržitelném energetickém využívání biomasy [13]

2.4.1 Emisní faktory spalování dendromasy

CO, CO₂ (skleníkové plyny)

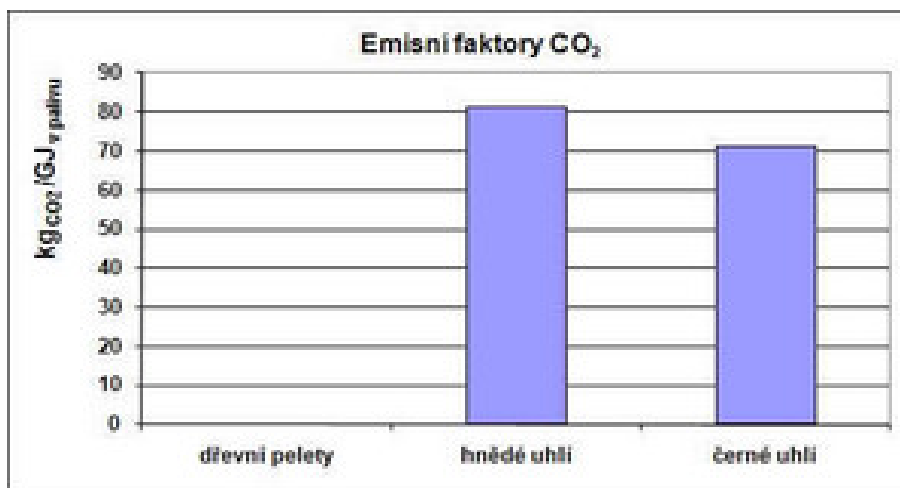
- CO - Množství vzniklého oxidu uhelnatého obsaženého ve spalování poukazuje na kvalitu spalovacího procesu (nevhodná konstrukce spalovacího zařízení pro dané palivo, špatné nastavení spalovacích parametrů).



Graf 1. Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů [14]

Množství vzniklého CO v palivu obsahujícím 1 GJ energie je pro dřevní pelety 1,1 kg. Což je při spalování v kotlích s nižšími výkony (do 200 kW) o 14 % méně, než u spalování hnědého uhlí a o 35 % více, než u černého uhlí.

- CO₂ - Množství vzniklého oxidu uhličitého, vzniklého během spalování dendromasy je absorbováno během růstu. Emisní faktor lze považovat za nulový, i když tomu tak ve skutečnosti není (stromy rostou desítky let a dřevo z nich je spáleno okamžitě).

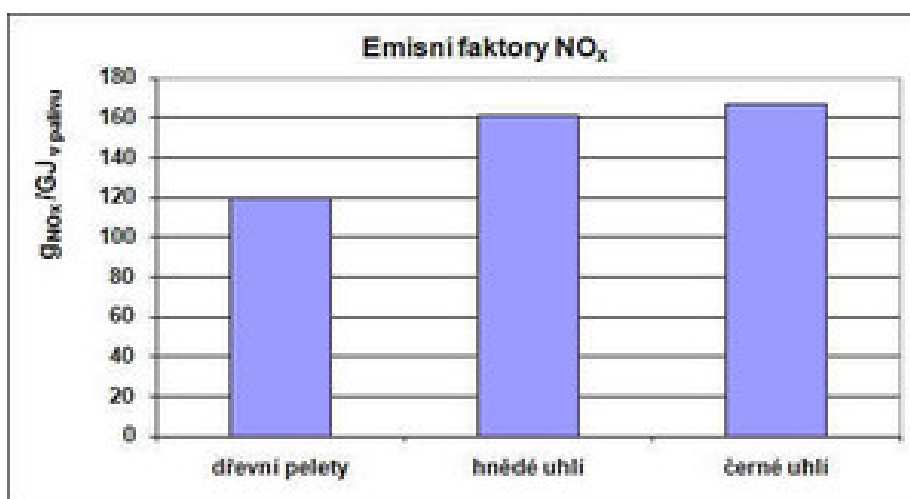


Graf 2. Emisní faktory CO₂ přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů [14]

Množství vzniklého CO₂ v palivu obsahujícím 1 GJ energie je pro dřevní pelety z hlediska současné legislativy zabývající se emisemi zanedbatelné.

NO_x SO₂ (plyny vedoucí ke tvorbě kyselých dešťů)

- NO_x - Množství vzniklých oxidů dusíku je ovlivněno obsahem dusíku v palivu a teplotou ve spalovací komoře kotle (v ohništích s malými výkony nevznikají tzv. termické NO_x a proto je hlavním podílem tvorby NO_x obsah dusíku v palivu).



Graf 3. Emisní faktory NO_x přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů [14]

Množství vzniklého NO_x v palivu obsahujícím 1 GJ energie je pro dřevní pelety 0,12 kg. Což je při spalování v kotlích s nižšími výkony (do 200 MW) o 25 % méně, než u spalování hnědého uhlí a o 30 % méně, než u černého uhlí.

- SO_2 - Množství vzniklého oxidu siřičitého spalováním dendromasy je vzhledem k velmi nízkému obsahu síry ve dřevě téměř nulový.

Těžké kovy

- Při spalování dendromasy je zpravidla vyšší koncentrace arsenu a kadmia, než u uhelných paliv a nižší koncentrace olova.

Polychlorované dibenzo-p-dioxiny/dibenzofurany (PCDD/PCDF) a Polyaromatické uhlovodíky a polychlorované bifenyly (PAU a PCB)

- Při spalování je nejvyšší koncentrace u vzniklého 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxinu (TCDD) a 2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuranu (PeCDF). Koncentrace PAU je u spalování biomasy dvakrát až třikrát menší než u černého uhlí.
Obecně je koncentrace PCDD/PCDF a PAU a PCB řádově nižší u zdrojů s velkým výkonem, než u zdrojů s výkonem nižším.

3. Současný stav těžby dřeva

Výsledkem těžby dřeva ve státech EU je primárně užitkové dřevo, využívané zpravidla pro výrobu koncových produktů, jako jsou např. stavební materiál, nábytek, nástroje [15]. Druhotně, ovšem ne méně podstatně, je využíváno jako přímé palivové dříví, nebo je dále zpracováno na energeticky bohaté biopaliva např. dřevní štěpka, pelety a brikety [16].

Těžba dřeva se dělí na těžbu úmyslnou předmýtní (l), úmyslnou mýtní (m), nahodilou (n) a mimořádnou (o) [17]. Úmyslná předmýtní těžba se také nazývá výchovná a provádí se ke zvýšení stability, kvality, udržení zdravotního stavu a druhové pestrosti lesních porostů. Úmyslná mýtní těžba, neboli obnovní je určena k obnově porostů starších 80 let. Nahodilá těžba se provádí v důsledku působení škodlivých činitelů např. živelné katastrofy, hmyzí škůdci, houbové choroby apod. Mimořádná těžba je realizována v důsledku rozhodnutí orgánů státní správy a odlesnění pro výstavbu staveb, silnic aj [18].

Proces těžby se skládá z těchto operací: příprava pracoviště, kácení, odvětvování, odkorňování, manipulace (úprava). Těžební zbytky mohou být zpracovány buď okamžitě po těžbě nebo během letních měsíců. Těžba dřeva je zakázána při špatných meteorologických podmínkách (silný vítr, snížená viditelnost, velký mráz) [12].

3.1 Současný stav těžby dřeva v jednotlivých zemích světa a ve vybraných zemích EU

V současnosti je odhad celosvětového využití dendromasy menší než 50 % celkové produkce. Maximální potenciál lesní biomasy v EU činí 543 mil. m³, z čehož 251 mil. m³ tvoří těžební zbytky, které jsou stále málo využívaným zdrojem energie, jako biopaliva, protože jejich používání závisí na řadě faktorů, jako jsou např. zákony, nařízení, dostupnost a logistika biomasy, ekonomické, ekologické a sociální podmínky aj [19].

Nejvíce zalesněnými oblastmi Země jsou místa původních deštných pralesů např. Francouzská Guyana (98 %), Mikronésie (92 %). V Evropě pak severské země např. Finsko (73 %) a Švédsko (69 %) [20].

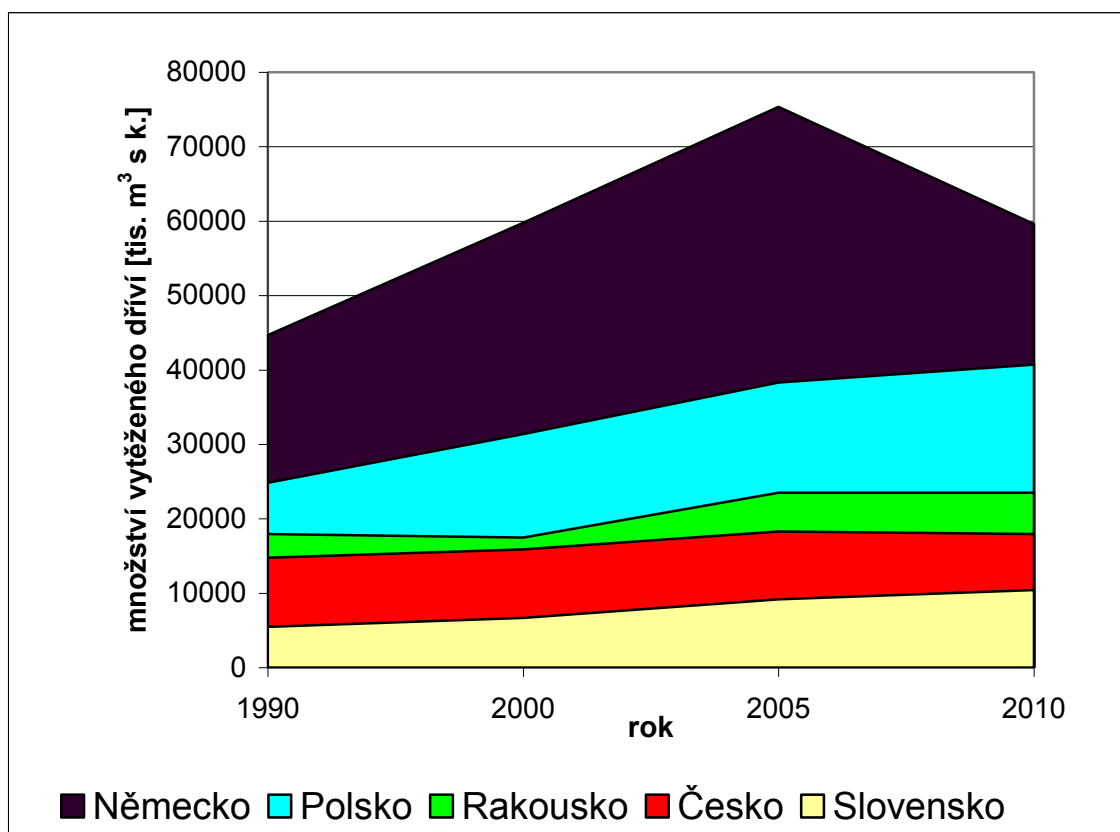
Množství vytěžené dřevní hmoty z lesů celosvětově stoupá. Téměř polovina vytěženého dříví na světě je spotřebována jako palivo.

V Africe a Asii činí podíl palivového dříví více než 70 % celkové spotřeby dřeva. Naopak Evropa a Amerika využívá vytěžené dříví primárně jako užitkové (k výrobě produktů).

Tab. 1. Množství těžby dřeva vybraných států EU v jednotlivých letech [21]

Stát (EU)	1990	2000	2005	2010
	tis. m ³ s k.			
EU (28 zemí)	400 239,96	467 638,02	512 864,67	489 265,34
ČR	14 775,35	15 859,79	18 273,25	17 940,33
Slovensko	5 454	6 683	9 146	10 418
Německo	44 689	59 762	75 336	59 610
Rakousko	17 925	17 490	23 511	23 511
Polsko	24 814	31 389	38 316	40 693
Spojené království	7 950	9 680	10 560	10 500
Francie	67 340,24	67 385,36	59 262,30	64 316,32
Itálie	13 336,52	14 326,88	13 298,05	12 754,69
Španělsko	17 741,21	16 873,39	17 369,10	16 576,62
Finsko	50 554	66 268	64 356	59 447
Švédsko	60 400	71 200	86 400	80 900
Malta	0	0	0	0

Z tabulky č.1 lze určit celkové množství vytěženého dřeva 28 zemí států EU, které v roce 2010 činilo 489 265,34 tisíc m³ dříví s kůrou. V tomto uvedeném roce bylo vytěženo na území ČR 17 940,33 tisíc m³ dříví s kůrou. Země s nejvyšším množstvím vytěženého dřeva pro rok 2010 byly Švédsko, Francie, Finsko, a naopak s nejnižší těžbou z uvedených zemí Slovensko, Spojené království, Malta.



Graf 4. Vývoj těžby dřeva v ČR a sousedících státech

V postupujícím období měla těžba dřeva u většiny států (kromě Malty) rostoucí trend, způsobený zejména zvýšenou poptávkou po dřevě jako tuhém biopalivu.

3.2 Současný stav těžby dřeva v ČR

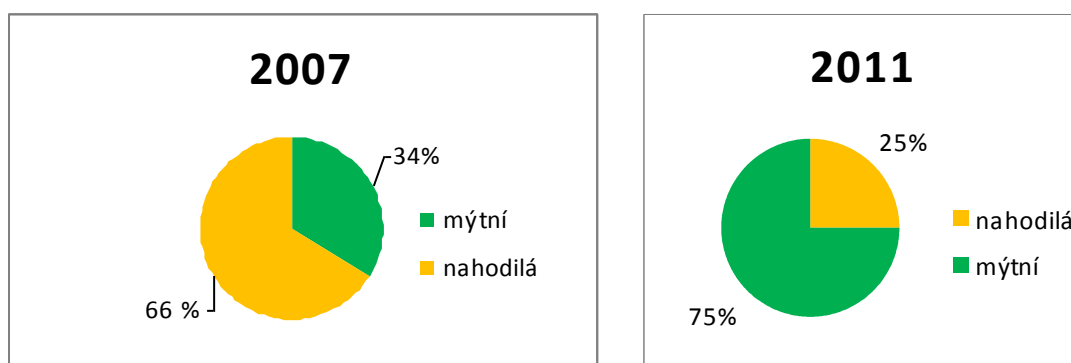
Lesnatost ČR (k roku 2011) je 33,8 % a lehce převyšuje průměr EU, který je 33 %. V rámci zemí EU se ČR nachází na 10. místě a mezi zeměmi světa na 48. místě, společně např. s Chorvatskem, Kanadou a Guatemalou [20]. Lesní porost pokrývá 2 594 938 ha z celkové plochy území ČR [22].

Nejvýznamnějším producentem dřevní hmoty jsou Lesy České republiky, s. p., které vlastní cca 50 % celkového zalesnění ČR a její průměrná roční výše těžby dřeva se pohybuje kolem 7,5 mil. m³ [23].

V lesích ČR bylo v roce 2012 vytěženo 15,06 mil. m³ surového dříví, což byl pokles o 0,32 mil. m³ v porovnání s předchozím rokem [24]. Podíl nahodilé těžby činil 21,5 % z těžby celkové. Podíl těžby listnatého dříví činil 13 % a podíl těžby jehličnatého dříví činil 87 % z celkové těžby. Tento poměr vyplývá z rozložení mytních porostů a také poptávkou na trhu se surovým dřívím.

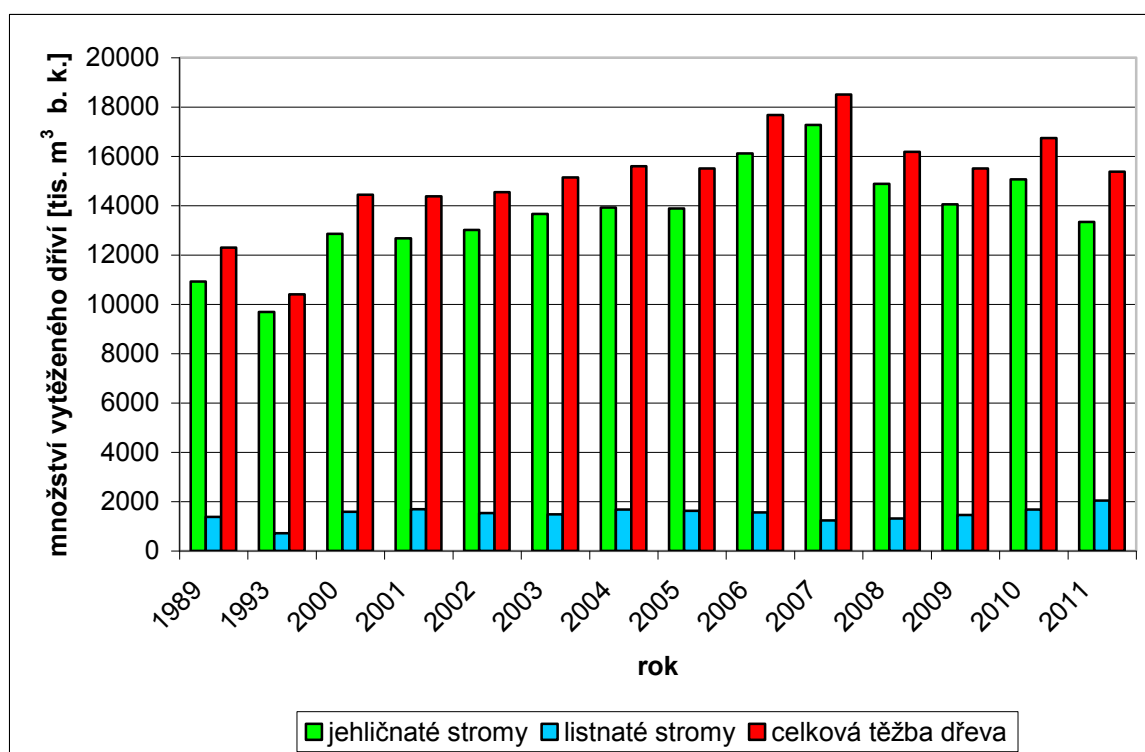
Tab. 2. Množství těžby dřeva podle typů stromů a těžby v jednotlivých letech [25]

Rok	Jehličnaté stromy	Listnaté stromy	Nahodilá těžba dřeva	Mýtní těžba dřeva	Celková těžba dřeva	Těžba dřeva na 1 ha lesní půdy
	tis. m³ b.k.					m³ b.k.
1989	10 922	1 381	4 994	7 309	12 303	4,68
1993	9 686	720	8 100	2 306	10 406	3,96
2000	12 851	1 590	3 288	11 153	14 441	5,48
2001	12 680	1 694	2 373	12 001	14 374	5,45
2002	13 010	1 531	4 213	10 328	14 541	5,50
2003	13 660	1 480	8 194	6 946	15 140	5,73
2004	13 920	1 681	5 379	10 222	15 601	5,90
2005	13 883	1 627	4 539	10 971	15 510	5,86
2006	16 118	1 560	8 027	9 651	17 678	6,67
2007	17 278	1 230	14 885	3 623	18 508	6,98
2008	14 877	1 310	10 749	5 438	16 187	6,10
2009	14 047	1 455	6 628	8 874	15 502	5,84
2010	15 066	1 670	6 459	10 277	16 736	6,30
2011	13 340	2 041	3 820	11 561	15 381	5,78



Graf 5. Podíl nahodilé a mýtní těžby dřeva v letech 2007 a 2011

Z tabulky č.3 a grafu č.5 lze usoudit že množství celkově vytěženého dřeva je kolísavé z důvodu nahodilé těžby. Začátkem roku 2007 zasáhl ČR (zejména Šumavu) orkán Kyrill a několik měsíců na to vichřice Emma. Z důvodu následně možné kalamity způsobené kůrovcem, byla ihned započata cílená nahodilá těžba. Rok 2011 naopak znázorňuje normální, průměrné rozložení způsobu těžby dřeva (bez větších přírodních pohrom).

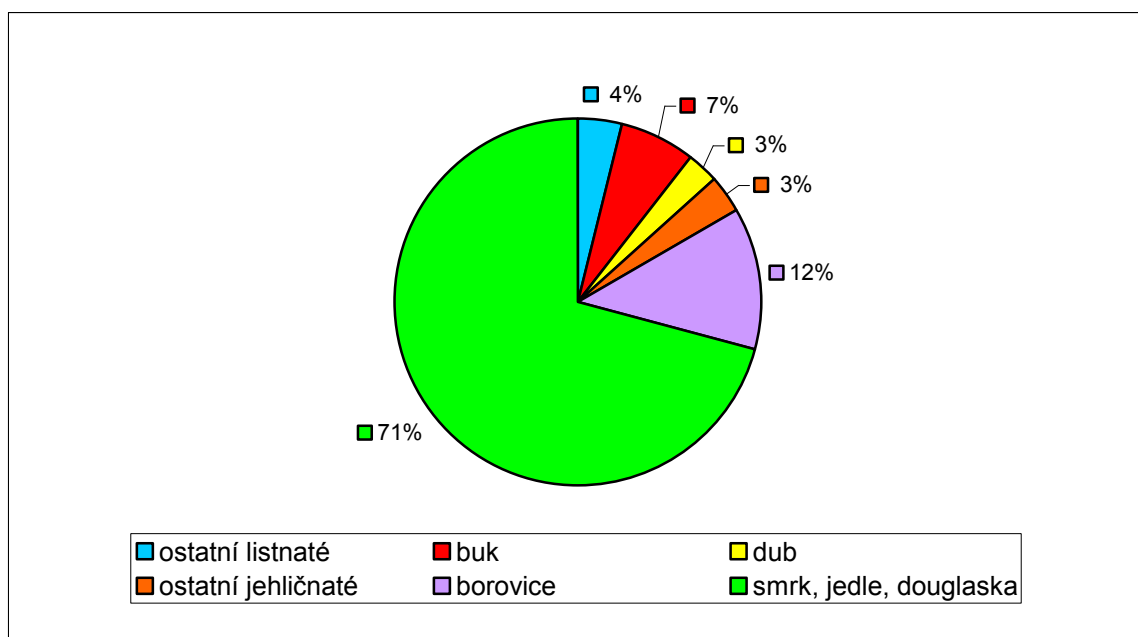


Graf 6. Množství těžby podle typu dříví v jednotlivých letech

Tab. 3. Množství těžby dřeva podle druhů stromů v jednotlivých letech [25]

Rok	Jehličnaté stromy			Listnaté stromy			
	smrk, jedle, douglaska	borovice všech druhů	modřín	dub	buk	javor	bříza
	m³ b.k.						
1989	8 859 237	1 857 166	203 592	393 171	559 472	17 762	126 574
1993	8 880 963	690 404	104 576	222 420	248 128	9 820	97 984
2000	10 525 158	1 870 596	454 950	395 308	663 411	28 261	170 090
2001	10 444 859	1 769 136	465 787	397 847	768 131	29 660	168 288
2002	10 716 741	1 815 181	477 910	359 561	694 210	26 806	152 093
2003	11 942 822	1 269 119	446 359	369 059	667 376	26 437	131 110
2004	12 000 075	1 506 643	411 473	360 219	865 733	27 704	136 662
2005	11 793 418	1 658 136	430 402	374 533	800 638	27 768	128 734
2006	13 123 270	2 570 535	422 890	396 465	708 690	28 290	124 746
2007	15 838 025	1 165 873	271 290	305 580	568 282	17 432	98 127
2008	13 040 877	1 411 113	422 337	336 313	573 979	22 536	105 909
2009	12 254 278	1 383 439	407 176	369 137	636 752	25 142	124 043
2010	12 396 949	2 082 837	585 372	385 605	812 475	29 947	140 035
2011	10 900 496	1 900 250	539 540	433 946	1 009 603	43 640	154 536

Zásoby dříví jsou v ČR tradičně udávány bez kůry (b. k.). Naproti tomu pro ostatní mezinárodní zprávy jsou zásoby vykazovány včetně kůry (s k.). Koeficient pro přepočet objemu hmoty s kůrou a bez kůry, zvláště pro jehličnaté (0,90909) a listnaté (0,86956) dřeviny udává vyhláška č. 84/1996 Sb., o lesním hospodářském plánování, § 7 odst. 1 [26].



Graf 7. Procentuální zastoupení druhů stromů ČR v roce 2011 [25]

4. Metody zpracování biomasy

OBM(DM) vzniklá při těžbě dřeva je nejčastěji zpracována na energeticky výhodnější produkty, které se používají na přímé spalování pro výrobu tepla, nebo ke generování elektřiny.

4.1 Technologie zpracování dendromasy v místě těžby

Odpadní zbytky dendromasy tzv. lesní klest je tvořena zejména větvemi, asimilačními orgány (u jehličnanů šišky), špičkami stromů a odřezky. Tyto části jsou hlavním zdrojem lesní energetické štěpky [12].

Klest je pomocí harvestoru rovnaná do vzdušných a soudružných hromad. Nesmí být poškozena, protože by jako budoucí palivo ztratila požadované vlastnosti (např. nedostatečným prosycháním a znečištěním zeminou a kamením vzniklým přejížděním těžebních strojů). Toto je v praxi problém, a i z tohoto důvodu se část tohoto lesního zbytku ponechává v místě těžby bez dalšího zpracování.



Obr. 2. Harvestor Timberjack s akumulativní štípací hlavicí [12]

Uložená klest v místě těžby se postupně vyváží na odvozní místo, kde je skladována v 3-4 metrů vysokých a širokých hromadách, které bývají někdy přikryty lepenkou, pro zamezení přístupu vlhkosti. Obvyklé se OBM(DM) vrství v období jara a případně podzimu.



Obr. 3. Hromada zbytkové dendromasy [12]

Jednou z možností dalšího zpracování OBM(DM) je metoda svazkování, kdy jsou lesní zbytky sesbírány a vloženy do balíkovacího stroje, který je upraví do podoby balíků. Délka balíků je přibližně 3 metry a průměr 60-70 cm. Váha činí cca 550 kg a každý balík představuje asi 1 MWh energie v závislosti na dřevině a vlhkosti.



Obr. 4. Nákladní automobil se svazkovaným dřevem [12]

Častěji se ale nahromaděná OBM(DM) štěpkuje nebo drtí na místě přímo do kamióňů či kontejnerů, kde se následně převáží do meziskladu, odkud se poté vyváží k dalšímu energetickému zhodnocení např. k přímému spalování, nebo na výrobu dřevních pelet, briket.

Obecně vzniká problém, protože lesníci nechtějí do lesů těžkou těžební techniku pouštět, protože jsou zastánci ponechání OBM(DM) v lese kvůli přirozenému koloběhu přírody, nebo naopak požadují úplné vyčištění, což prakticky není možné. V praxi na místě běžně zůstává 30 % OBM(DM) z důvodu efektivity a ohledu na ŽP.

Další negativní vlastností je znečištění OBM(DM) vlivem přejížděním harvesterů, traktorů, nebo vyvážkami. Výsledkem je znehodnocení produktu, který je nepoužitelný pro energetické využití.

4.2 Úprava dendromasy na energeticky výhodné produkty

Různé druhy dendromasy většinou nelze ve spalovacích zařízeních použít přímo, musí se upravit do vhodného tvaru a rozměru. Surová OBM(DM) se na místě těžby zpracuje do podoby štěrky, která se dále využívá k výrobě energeticky výhodnějších produktů. Nejčastější koncové technologie používají metody briketování a peletování.

Obě metody využívají principu vysokotlakého lisování (až 31,5 MPa), kdy dochází k přiblížení částic na minimální molekulovou vzdálenost. Důležitým vstupním parametrem je vlhkost, která nesmí přesáhnout hranici 20 %, neboť by nedošlo k dostatečnému zhutnění na požadovaný rozměr. Pro kvalitní zhutnění se doporučuje vlhkost maximálně do 15 % [11].

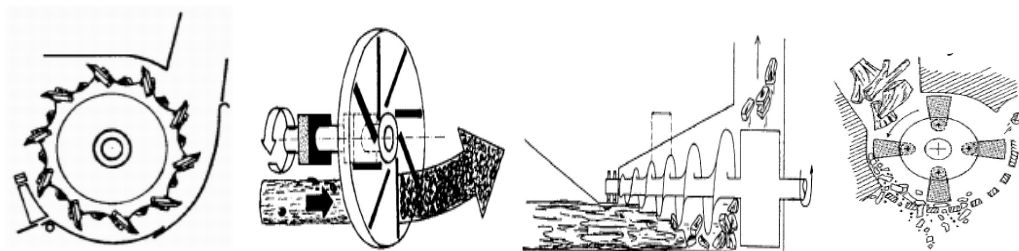
4.2.1 Štěpkování

Štěpka se používá jako levné tuhé biopalivo, nebo se dále upravuje na dřevní pelety, brikety. Jedná se o prvotní zpracování lesní OBM(DM), kdy dochází k úpravě rozměru pomocí tzv. štěpkovačů, které pracují na principu sekání prostřednictvím nožů.

Jedná se o strojně zkrácenou a nadrcenou dřevní hmotu o délce 3 až 250 mm s měrnou objemovou hmotností 0,25 až 0,3 $kg \cdot dm^{-3}$. Průměrná výhřevnost je vysoce závislá na obsahu vody a pohybuje se v rozmezí 8 - 12 $MJ \cdot kg^{-1}$. Její vlhkost se bezprostředně po těžbě pohybuje okolo 55 % a po přirozeném dosušení zpravidla klesá na 30 %.

Na trhu se pohybují 3 druhy dřevní štěrky, a to štěrka zelená (Tzv. lesní, získávaná ze zbytků po lesní těžbě, složená z části drobných větví, jehličí, případně listí. Její vlhkost je značně vysoká.), hnědá štěrka (Získávána ze zbytkových částí kmenů s obsahem kůry.) a bílá štěrka (Získávána z odkorněného dříví, neobsahuje kůru.).

Nejčastějšími typy sekaček jsou bubnová sekačka, disková sekačka a šneková (spirálová) sekačka [26].



Obr. 5. Bubnová, disková, šneková (spirálová) sekačka a kladivový drtič [27]



Obr. 6. Dřevní štěrka vyrobená nožovým štěpkovačem [28]

Znečištěný materiál se zpracovává pomocí kladivového drtiče.



Obr. 7. Dřevní štěrka vyrobená kladivovým drtičem [28]

Nevýhodou štěrky je velký objem a tedy prostor, který zaujímá. Proto se používají další procesy, vedoucí k její homogenizaci a efektivní transformaci na skladnější produkty, jako jsou peletky a brikety.

4.2.2 Peletování

Výroba dřevních pelet spočívá v silném stlačení OBM(DM) a vedlejších výrobků z dřevozpracujícího průmyslu (piliny, hobliny, atd.). Výrobní proces je znám již 100 let.

Čistá, suchá (6 - 12 % vody) dřevní drť se nejčastěji mechanicky velkým tlakem lisuje do tvaru válečků o průměru 6 a 20 mm, délky od 10 do 50 mm (poměr průměru a délky by neměl být větší než 1:3), s měrnou objemovou hmotností 1 až 1,4 $kg \cdot dm^{-3}$.

Průměrná výhřevnost pelet je 16,5 - 18,5 $MJ \cdot kg^{-1}$ a obsah popele v sušině je 0,5 - 1,1 % [11].

Pro dobré sypné a skladové vlastnosti a vysokou koncentraci energie jsou určeny pro automatické kotle rodinných a menších obytných domů, také pro lokální automatická kamna v bytech. Mohou doplňovat uhlí v kotelnách.



Obr. 8. Dřevní pelety vlevo bez kůry, vpravo s kůrou [29]

4.2.3 Briketování

Jedna z možností využití OBM(DM) je výroba briket. Ty jsou využívány v domácnostech, kde by se za normálních okolností využívalo uhlí.

Suchá dřevní štěpka (6 - 12 % vody) se nejčastěji mechanicky velkým tlakem lisuje do tvaru válečků, hranolů nebo šestistěnů o průměru 40 a 100 mm, délky do 300 mm, s měrnou objemovou hmotností do $1,2 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

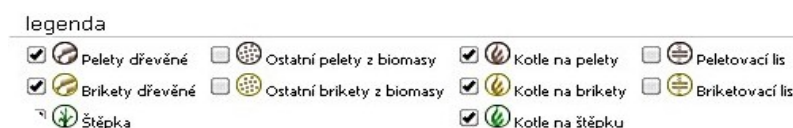
Výhřevnost $16,5 - 18,5 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, obsah popele v sušině je 0,5 - 1,5 %.

Brikety se nejčastěji používají v malých topeništích, lokálních kamnech, v kotlích a krbech s ručním přikládáním.



Obr. 9. Dřevěné brikety [30]

Jako součást dřevních pelet a briket se využívá kůra. Její výhřevnost je vzhledem k obsahu pryskyřic až $20 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, ale při znečištění zeminou má vyšší obsah popele (až 6 %) [11].



Obr. 10. Mapa produkce tuhých biopaliv v ČR [31]

Tab. 4. Vlastnosti a cena jednotlivých druhů paliv [35]

Druh paliva	Cena [$Kč \cdot GJ^{-1}$]		Vlhkost [%]	Váha/Objem [$kg \cdot m^{-3}$]	Výhřevnost [$MJ \cdot kg^{-1}$]
	2010	2011			
Tvrdé palivové dříví (dub)	98	112	30-50	819-945	11
Měkké palivové dříví (smrk)	97	123	30-50	559-645	10,9
Štěpka	75	75	15-50	250	8-15
Brikety	262	262	<10	900-1200	12-18
Pelety	272	280	<10	900-1200	17-20
Hnědé uhlí	190	177	5-20	800	17
Černé uhlí	235	243	1%	720	23
Koks	269	322	-	720	27
Zemní plyn	381	358	-	0,7	16-34
Elektrická energie	667	675	-	-	-

Podle tabulky č.5 a č.6 má palivové dříví jako biopalivo narozdíl od ostatních fosilních paliv nejmenší výhřevnost, což je dáno vlivem vysokého obsahu vlhkosti a tím pádem se jeho cena řádově nižší, než u ostatních paliv. Dřevní štěpka je nejlevnější (pro rok 2011 cca $75 \text{ Kč} \cdot GJ^{-1}$), ale její nevýhodou je poměr hmotnosti a prostoru, který zaujímá.

5. Energetická a materiálová bilance

Teoretická celosvětová produkce BM se pohybuje na úrovni 100 miliard tun za rok, jejíž roční energetický potenciál se pohybuje kolem 1400 EJ [12] (energie ničivého japonské zemětřesení z 11. 3. 2011 byla přibližně 1,4 EJ), což je téměř pětikrát více, než činní světová spotřeba fosilních paliv, která se pohybuje okolo 300 EJ. Pokud by jako biomasa byl započten i fytoplankton v mořích a oceánech, vzrostl by technický potenciál [32] až na cca 4500 EJ.

Energetický potenciál dendromasy ČR za rok 2011 činil cca 42,5 PJ (primární energie; kalkulováno s obsahem vody 15%) [8].

Odpadní dřevní biomasa je v současné době v největší míře využívá pro spalování s fosilními palivy a určitá část zůstává v lese nevyužita, jako způsob zachování biodiverzity a přirozené regenerace po těžbě [33].

Tab. 5. Typ a způsob získávání energie obsažené v biomase [34]

Typ konverze biomasy	Způsob konverze biomasy	Energetický výstup	Odpadní materiál nebo druhotná surovina
thermochemická konverze (suché procesy)	spalování	teplo vázané na nosič	popeloviny
	zplyňování	generátorový plyn	dehtový olej, uhlíkaté palivo
	pyrolýza	generátorový plyn	dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
biochemická konverze (mokré procesy)	anaerobní fermentace	bioplyn	fermentovaný substrát
	aerobní fermentace	teplo vázané na nosič	fermentovaný substrát
	Alkoholová fermentace	Etanol, metanol	Vykvašený substrát
fyzikálně-chemická konverze	esterifikace bioolejů	metylester, biooleje	glycerin

Pro energetickou přeměnu OBM(DB) se využívají tzv. suché procesy thermochemické konverze energie (spalování, zplyňování a pyrolýza), které se provádí v příslušných technologických zařízeních (tepelné kotle, zplyňovací a pyrolýzní jednotky) z čehož nejčastěji používaným je metoda spalování, kdy je energie ve formě tepla vázaná na nosič. Vzniklý tuhý odpad spalování je popelovina.

OBM(DM) vzniklá po těžbě se v dřívějších dobách spalovala v ohništi na místě těžby. Tento způsob se však již z větší části nepoužívá, neboť vzniká volná energie, která se nedá dále využít. Nepoužívá se také pro vysoké riziko hrozby lesních požárů, protože dendromasa hoří dlouhým plamenem a při jejím spalování by byla nutná úprava ohniště a dozor. Společně se na místě často spaluje i jiný nedřevní materiál, který přispívá k úniku velkého množství emisí do ovzduší.

Při spalování určitého množství OBM(DM), jako tuhého biopaliva, se uvolňuje teplo, které se při spalovacích procesech v technických zařízeních tomu určených nazývá výhřevnost.

Základním parametrem určujícím výhřevnost OBM(DM) jako tuhého biopaliva je hlavně vlhkost a poté také míra znečištění v ní obsažené.

Tab. 6. Výhřevnost a složení dendromasy v porovnání s vybranými fosilními palivy [1]

Palivo	rozmezí	výhřev- nost $MJ \cdot kg^{-1}$	podíl prchavé hořlaviny [%]	obsah popelo- vin [%]	vlhkost [%]	elementární složení [%]				
						C	H	O	N	S
Dřevo	Min.	16,9	70	0,2	10	45	5,3	41, 4	0,1	0,0 2
	Max.	19	85	3	60	52	6,5	46	1,7	0,3
hnědé uhlí	Min.	14	20	3	10	27,5	2,5	12	0,3	0,5
	Max.	23	55	33	30	64	5,8	33	1,5	6
černé uhlí	Min.	27	10	3,7	10	65	2,8	5	0,9	0,5
	Max.	32,5	40	17	30	84	5	9,1	2	1,5
zemní plyn	Min.	32	100	0	do 0,5	19	80	-	0,2	-

Výhřevnost se definuje jako energie získatelná spálením jednotkového množství (obvykle 1 kg) paliva za vzniku spalin, obsahující vodu ve formě spalin [36].

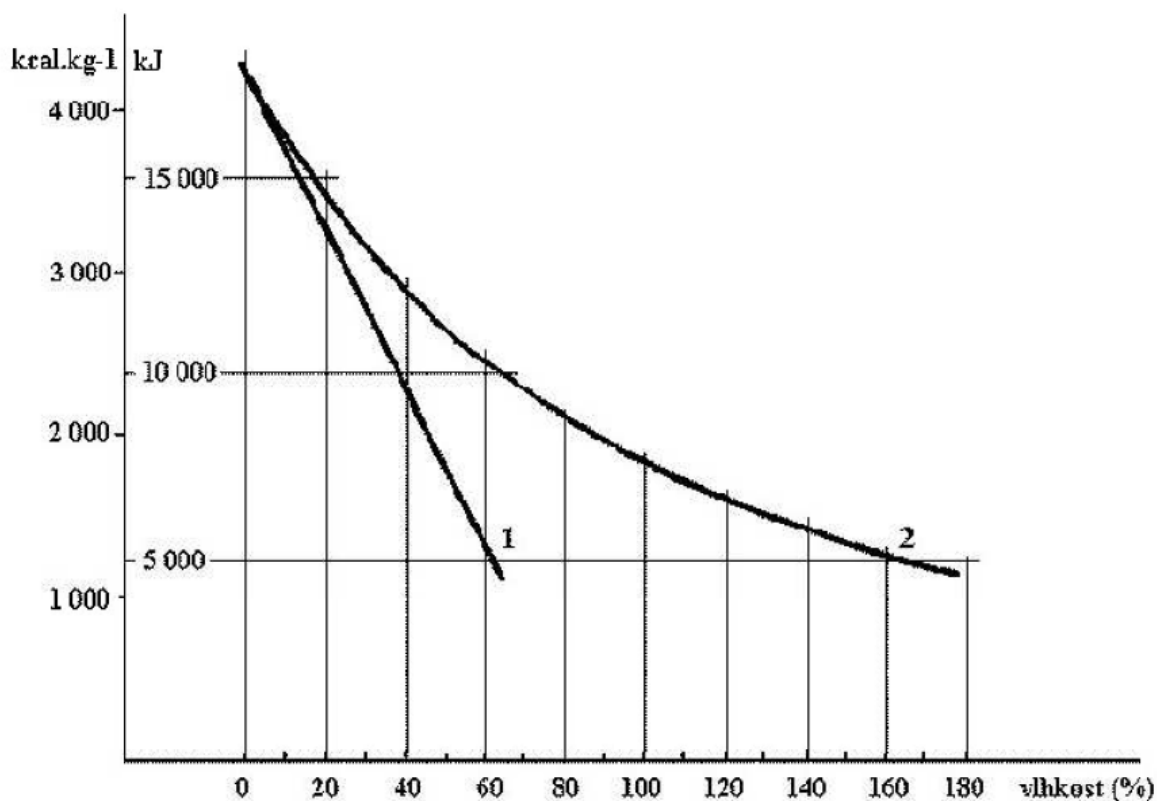
Výhřevnost dokonale suchého dříví je $18 MJ \cdot kg^{-1}$ u listnatých druhů a u jehličnatých se pohybuje kvůli vyššímu obsahu obsažených pryskyřic okolo $19 MJ \cdot kg^{-1}$ [37]. Čerstvě vytěžené dřevo obsahuje 50 % vody. Při přirozeném provětrávání sníží svůj obsah vody na 30 % za rok, na 20 % za dva roky. Množství vlhkosti obsažené v OBM(DM) určené jako tuhé biopalivo popisuje rovnice č.1.

$$w = \frac{m_v - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad [\%] \quad (1)$$

kde w je obsah vody obsažené v dané dendromase [%]

m_v - hmotnost vlhké dendromasy [kg]

m_s - hmotnost suché dendromasy [kg]



Graf 8. Závislost výhřevnosti dendromasy na relativní (1) a absolutní vlhkosti (2) [27]

Se zvyšující se vlhkostí dřevního biopaliva klesá jeho výhřevnost. Snižuje se též účinnost spalovacího procesu, neboť je teplo vzniklé spalováním spotřebováno při vypařování vody obsažené v daném tuhém biopalivu. Vyšší obsah vlhkosti má také za následek větší objemovou hmotnost OBM(DM).

Účinnost spalovacího procesu v kotli je vyjádření míry, s jakou se podařilo přeměnit dodanou energii (příkon), na tepelnou energii předanou topnému médiu (výkon). Vzniká také energie, která do teplotnosné látky nepřejde (ztráty).

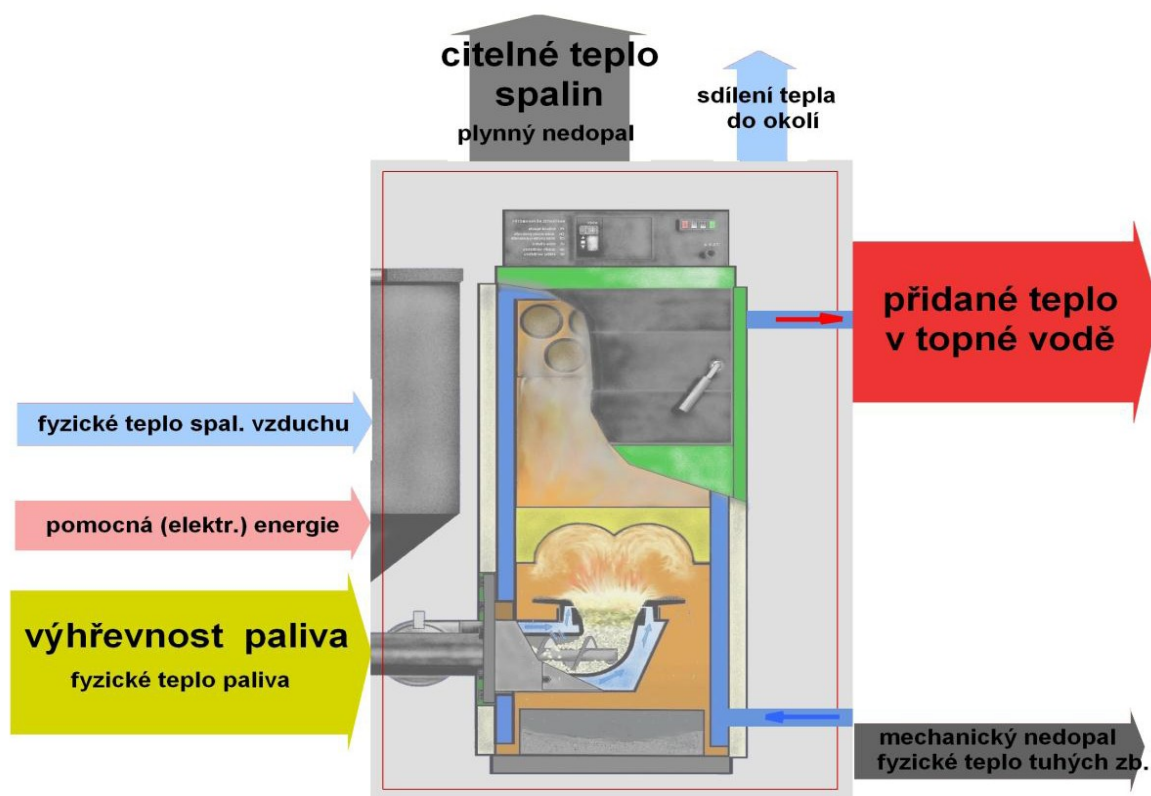
$$\eta = \frac{P_v}{P_p} \cdot 100 = \frac{\text{získaná energie}}{\text{vložená energie}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

kde η je účinnost spalovacího procesu [%]

P_v - výkon, tj. množství energie odebrané ze zařízení za jednotku času $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$

P_p - příkon, tj. množství energie dodané do zařízení za jednotku času $\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$

Účinnost spalovacího procesu v kotli je vyjádření míry, s jakou se podařilo přeměnit dodanou energii (příkon), na tepelnou energii předanou topnému médiu (výkon). Vzniká také energie, která do teplotnosné látky nepřejde (ztráta).



Obr. 11. Energetické toky probíhající při spalovacím procesu v kotli pro tuhá paliva [40]

Příkon je souhrn energií vstupujících do procesu. Energie přivedená palivem obsahuje přímo vázané akumulované teplo. Energie přivedená spalovacím vzduchem obsahuje také vázané teplo, někdy je také spalovací vzduch přehříván odpadním teplem z jiných technologií. Za pomocné energie se považují elektrické agregáty umožňující automatizaci procesů nezbytných pro provoz zařízení, např. dávkování, čištění a hlavně zapalovací zařízení.

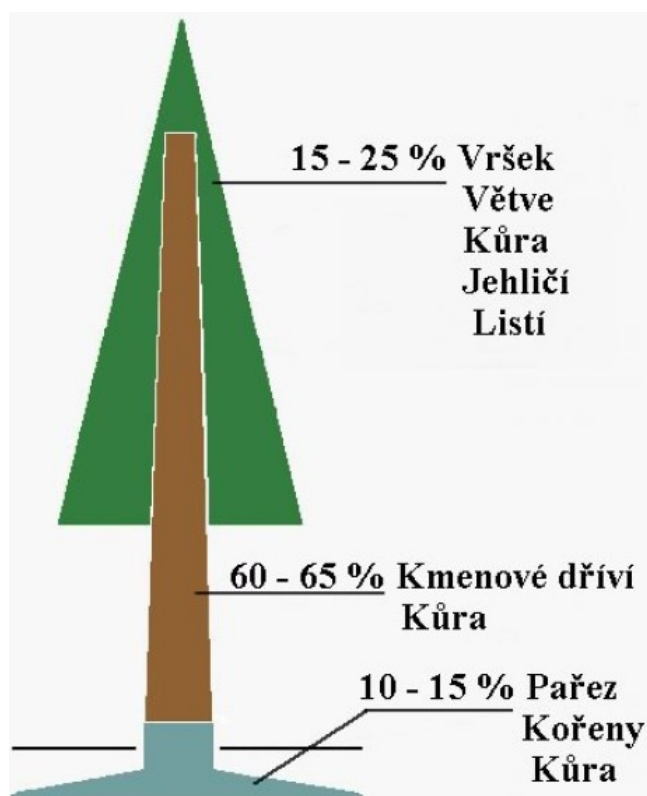
Výkon je výsledná energie předaná teplotnosné látce. V místě největšího teplotního rozdílu dochází k nejintenzivnějšímu přenosu tepla. Toto místo se nachází přímo ve spalovací komoře, ale z důvodu udržení procesu hoření je teplosměnná plocha posunuta kousek vedle od ohniska hoření. Posunutí je však nevýhodou pro paliva s nízkým podílem prchavé hořlaviny (krátkým plamenem). Řešením je zmenšení spalovací komory.

Za ztráty se považuje taková energie, která není plnohodnotně využita a z větší části odchází v procesu jako volná. Energie odvedená spaliny je ztrátové teplo odvedené kouřovým hrdlem z kotle do komína. Tato ztráta je tolerována, neboť je nutný odvod spalin a zamezení tak vzniku nebezpečného kondenzátu. Energie odvedená tuhými zbytky spalování představuje nevyhořelý uhlík obsažený v popelu a sazích. Energie odvedená plochou kotle do okolí je ztrátou vzniklou sdílením tepla do okolí.

5.1 Materiálová bilance dendromasy

Kmenové dříví vzniklé po těžbě dřeva se podílí 60 - 65 % celkově vytěžené dendromasy. To však obsahuje cca 10 % kůry v závislosti, o jaký druh porostu se jedná. V praxi to znamená, že v okolí oblasti těžby zůstává okolo 50 % OBM(DM). Celé toto množství však kvůli technickým, ekonomickým a ekologickým aspektům, nebude nikdy využito. Orientační množství zbytkové OBM(DM) vzniklé při těžbě dřeva se odhaduje jako jedna třetina z celkového množství vytěženého dříví.

Tato metodika (tzv. metoda pro velkoplošnou těžbu dřeva, nebo-li metoda Simanov) se využívá pro velká území s vyrovnaným objemem ročních těžeb [27].



Obr. 12. Rozdělení vyprodukované biomasy [38]

Po zpracování vytěženého stromu, a jeho následné úpravě, vzniká dendromasa, která se podle velikosti následně expeduje, již jako přímý zdroj energie ve formě tuhého dřevního biopaliva (celistvé dřevo, polena, štěpka), nebo se dále využívá k výrobě energeticky výhodnějších produktů (pelety, brikety).

Tab. 7. Příklady dendromasy využitelné jako palivo [11]

Název paliva	Typická velikost částic	Běžná metoda přípravy
Palivový jemný prach	< 1 mm	Mletím
Piliny	1 - 5 mm	Řezáním ostrými nástroji
Dřevní štěpky	5 - 100 mm	Řezáním ostrými nástroji
Rozdrcené dřevní palivo	různé	Řezáním tupými nástroji
Kůra	různé	Odkorněním zbytků stromů (rozřezána, nerozřezána)
Polena	100 - 1000 mm	Řezáním ostrými nástroji
Celé dřevo	> 500 mm	Řezáním ostrými nástroji
Pelety	$\varnothing < 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením
brikety	$\varnothing > 25 \text{ mm}$	Mechanickým stlačením

Odhadované množství OB(D) je 2,77 mil m^3 , vyjádřené jako plnometry (plm, dřevní hmota zaplňuje 100 % jednoho kubického metru). V praxi zaujímá štěpka větší prostor, protože se nejedná o celistvý kus. Plnometr se přepočítává jako sypaný metr (prms, dřevní hmota obsahuje 50 % a zbylých 50 % tvoří vzduch, která zaplňuje její meziprostor). U větších briket lze plnometr přepočíst na skládaná metr (prm, uložená dřevní hmota obsahuje 70-80 % a zbytek tvoří vzduch vyplňující její mezery [39].

Objemová hmotnost OB(D) je (podle poměru množství jehličnatých a listnatých dřevin a jejich měrných hmotností) $639 \text{ kg} \cdot \text{m}^3$.

Celková hmotnost OB(D) vyprodukované v ČR pro rok 2012, byla 1,278 mil. tun.

Tab. 8. Odhad množství vyprodukované OB(D) vzniklé velkoplošnou těžbou dřeva pro vybrané státy EU v jednotlivých letech a její procentuální nárůst/pokles v porovnání s rokem 1990

Stát (EU)	1990	2000		2005		2010	
	tis. m³ s k. / %						
EU (28 zemí)	133 413,32	155 879,34	17	170 954,89	28	163 088,45	22
ČR	4 925,12	5 286,60	7	6 091,09	24	5 980,11	21
Slovensko	1 818	2 227	22	3 048,67	67	3 472,67	91
Německo	14 896,33	19 920	34	25 112	67	19 870	33
Rakousko	5 975	5 830	-2	7 837	31	7 837	31
Polsko	8 271,33	10 463	26	12 772	54	13 564,33	64
Spojené království	2 650	3 226,67	22	3 520	33	3 500	32
Francie	22 446,45	22 461,79	0	19 746,10	-12	21 438,77	-4
Itálie	4 445,51	4 775,63	7	4 432,68	0	4 251,54	-4
Španělsko	5 913,74	5 624,46	5	5 798,7	2	5 525,54	7
Finsko	16 851,33	22 089,33	31	21 452	27	19 815,67	18
Švédsko	20 133,33	23 733,33	18	28 800	43	26 966,67	34
Malta	0	0	-	0	-	0	-

Podle tabulky č. 2 produkce OB(D) využitelné hlavně pro energetické účely ve většině státech EU od roku 1990 výrazně vzrostla, a to v průměru o čtvrtinu (22 %) k roku 2010. Výjimkou je Francie, kde se produkce energie z tuhých biopaliv snížila vlivem provozu nových jaderných elektráren. Nejvyšší nárůst množství OB(D) v průběhu let zaznamenala Slovenská republika, bohužel prostřednictvím přírodní pohromy (vichřice v Tatrách, listopad 2004). Vysoký nárůst zaznamenalo také Polsko, které postupem času zvýšilo podporu produkce tzv. zelené energie získávané z tuhých dřevních biopaliv. Velká Británie je od průmyslové revoluce velmi limitována produkcí OB(D), avšak do budoucna počítá se zvyšováním, kvůli přechodu výroby energie s fosilních paliv na tuhá biopaliva. Česká republika více méně udržuje produkci s trendem pro celkovou produkci OB(D) Evropy. V roce 2010 tvořila produkce OB(D) vzniklé v lesích ČR 3,67 % z celkové produkce ve státech EU.

5.2 Energetická bilance OB(D)

Jedná se o teoreticky určené potenciální množství energie, vzniklé podle jednotlivých suchých termochemických metod konverze energie (spalování, zplyňování, pyrolýza) z OB(D) vyprodukované těžbou dřeva v roce 2012 (2,77 mil. m³).

Protože je však kvůli nepřesným údajům o podílech tuhých biopaliv (dřevní štěpky, pelet a briket) vzniklých z celkového množství OB(D), byl teoretický výpočet přeměněné energie vztažen zvlášť na štěpku (tzv. prvotní biopalivo), pelety a brikety, jako celkové množství OB(D).

5.2.1 Energetická bilance spalování OB(D)

Spalování je oxidační proces, při kterém se uvolňuje chemicky vázaná energie obsažena ve spalovaném palivu. Je-li tento proces doprovázen světelným efektem, tedy plamenem, jedná se o tzv. hoření [40].

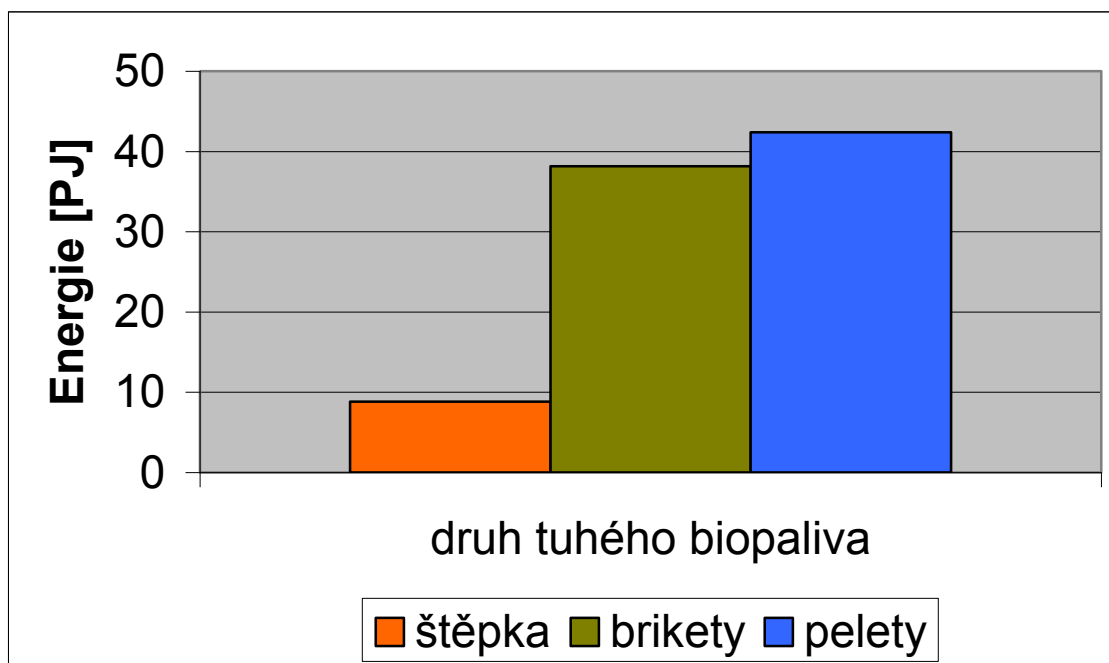
Reakce probíhá za přístupu stechiometrického, někdy i nad stechiometrického množství vzduchu (okysličovadla) podle rovnice:



Přeměna energie OB(D) metodou spalování probíhá při teplotě 800 - 1300 °C a doba přeměny se pohybuje v rozsahu minut [41].

Technologická zařízení pro spalování OB(D) jsou tepelné kotle. Tato metoda se převážně využívá pro zdroje s nízkými výkony (kamna, kotle pro vytápění rodinných domů, kotelny menších domů).

Vzniklým produktem je teplo vedené přes teplosměnné médium, nebo vodní pára, které vede ke vzniku elektrické energie.



Graf 9. Množství energie vzniklé spálením (s 85% účinností) jednotlivých biopaliv jako celkového množství OB(D) v ČR pro rok 2012

Vyjádřené množství vzniklé energie je vztaženo na termické zařízení (tepelný kotel) s 85% účinností.

Štěpka jako celkové množství OB(D) vyprodukované těžbou dřeva v ČR by v roce 2012 vážila (teoreticky, podle měrné hmotnosti pro obsah vlhkosti 15%) 692,5 mil. kg. Což by při její příslušné výhřevnosti ($15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) činilo množství 8,8294 PJ energie vzniklé spálením v tepelném zařízení s danou účinností.

Takto vzniklá energie je ekvivalentem energie vzniklé výbuchem 132 atomových bomb svrhnutých 6. srpna 1945 na japonské město Hirošima, nebo také jako energie vzniklá výbuchem 2,24 milionu tun TNT.

Energie vzniklá spálením briket, jako celkového množství OB(D) by v ČR pro rok 2012 činila 38,1429 PJ a pro pelety 42,3810 PJ.

5.2.2 Energetická bilance zplyňování OB(D)

Zplyňování je suchý termochemický proces, při kterém dochází pomocí zplyňovacího média (H₂O pára, H₂, CO₂, O₂ aj.) k téměř úplné přeměně organických složek paliva na plynné produkty (a pevné zbytky), přičemž dochází k 90% redukci objemu materiálu [41].

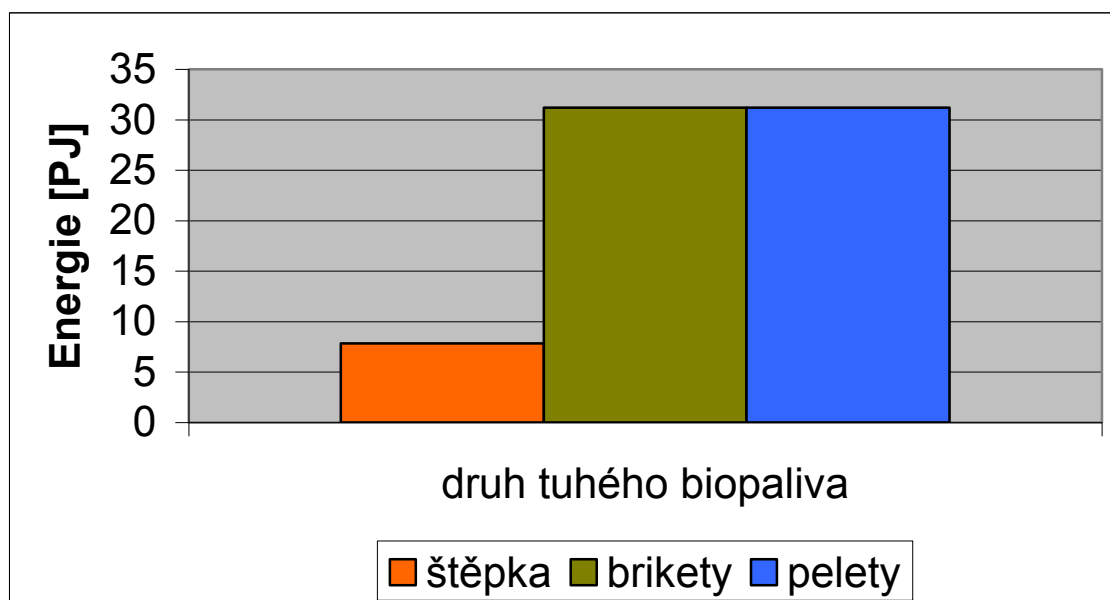
Reakce probíhá za přístupu kyslíku (vzduchu) pod stechiometrickým množstvím podle rovnice:



Přeměna energie OB(D) metodou spalování probíhá při teplotě 700 - 900 °C a doba přeměny se pohybuje v rozsahu minut až hodin.

Technologická zařízení pro zplyňování OB(D) jsou zplyňovací jednotky (zplyňovače).

Vzniklým produktem je syntézní plyn (tzv. dřevoplyn).



Graf 10. Množství energie vzniklé spálením dřevoplynu v plynovém motoru (s 85% účinností) vzniklého z jednotlivých biopaliv jako celkového množství OB(D) v ČR pro rok 2012

Vyjádřené množství vzniklé energie je vztaženo na termické zařízení s 85% účinností.

Z 1kg absolutně suché štěpky vznikne 2,7 m³ dřevoplynu o výhřevnosti 5,8 MJ·m⁻³. Hmotnost štěpky (15% obsahu vlhkosti) jako celková hmotnost OB(D) je 692,5 mil. kg. Hmotnost absolutně suché štěpky je tedy 588,625 mil. kg. Při zplyňování takto přepočteného množství vznikne 1 589,2875 mil. m³ syntézního dřevoplynu, jehož celkový energetický potenciál je při procesu tepelné přeměny s 85% účinností 7,8353 PJ.

Množství dřevoplynu vzniklého z briket o obsahu vlhkosti 6 %, jako celkového množství OB(D) v ČR pro rok 2012 by činilo 6 327,234 mil. m³ a množství energie vzniklé při termickém procesu s 85% účinností by byl 31,1933 PJ. Obdobné hodnoty by vzhledem k identickým parametrům patřili také pro pelety.

5.2.3 Energetická bilance pyrolýzy OB(D)

Pyrolýza (tzv. suchá destilace) je termický proces, při kterém se organická hmota biopaliva rozkládá bez přístupu kyslíku, za účelem výtěžku pevného produktu (dřevěné uhlí, koks) [42].

Reakce probíhá bez přístupu vzduchu.

Pyrolýza je rozdělena do čtyř časových stádií, podle pomalu rostoucí teploty (vysychání, prvotní rozklad, exotermický rozklad, “doběhnutí“ rozkladu).

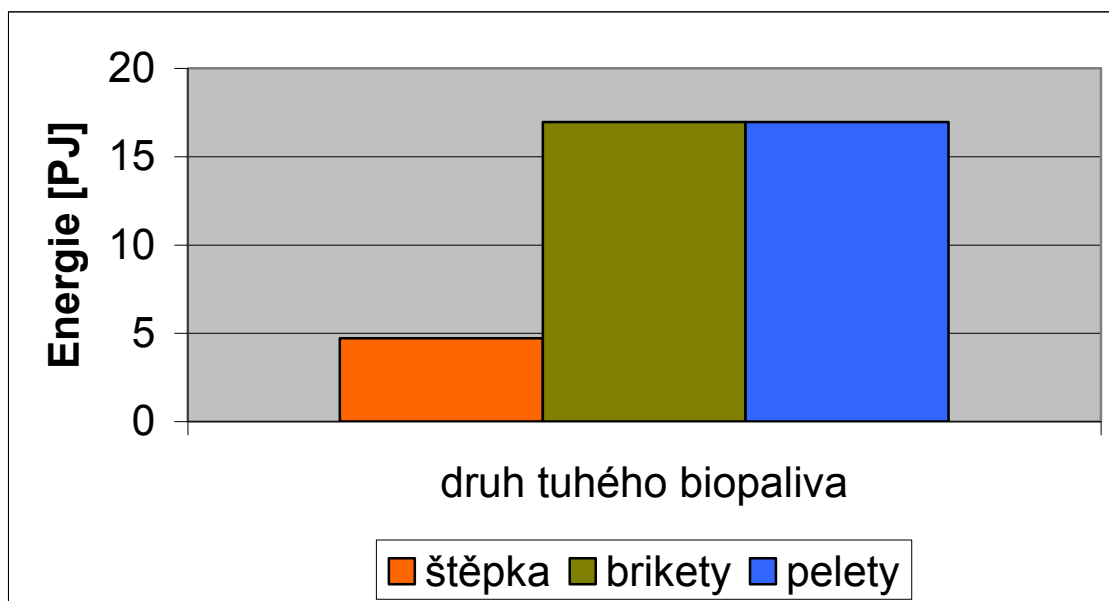
Přeměna energie OB(D) metodou pyrolýzy probíhá při teplotě 400 - 700 °C a doba přeměny se pohybuje v rozsahu hodin až dnů.

Technologická zařízení pro pyrolýzu OB(D) jsou jámy, milíře a karbonizační pece.

Vzniklým produktem je pyrolýzní plyn a požadované dřevěné uhlí (koks).

Množství vzniklého dřevěného uhlí vzniklého při pyrolýze je závislé na velikosti karbonizační teploty. Standardní teplota, při které dochází k nejvyšším výtěžkům je 400 °C (při zvýšení na 500 °C ztrácí 20 - 25 % hmotnosti a při teplotě 1000 °C 30 - 35 %)

Výhřevnost dřevěného uhlí je 27,2 MJ·kg⁻¹, ale pro vytápění se nepoužívá. Jeho hlavní využití je pro hutnictví, aktivní uhlí. Energeticky lze zhodnotit minimálně, a to jako palivo používané při grilování pokrmů [43].



Graf 11. Celkové množství energie vzniklé spálením dřevěného uhlí z jednotlivých druhů tuhých biopaliv v ČR pro rok 2012

Pro hrubé kalkulace se uvažuje množství vyprodukovaného dřevěného uhlí pyrolýzou jako 25 % hmotnosti a jako 50 % objemu z původního množství OB(D).

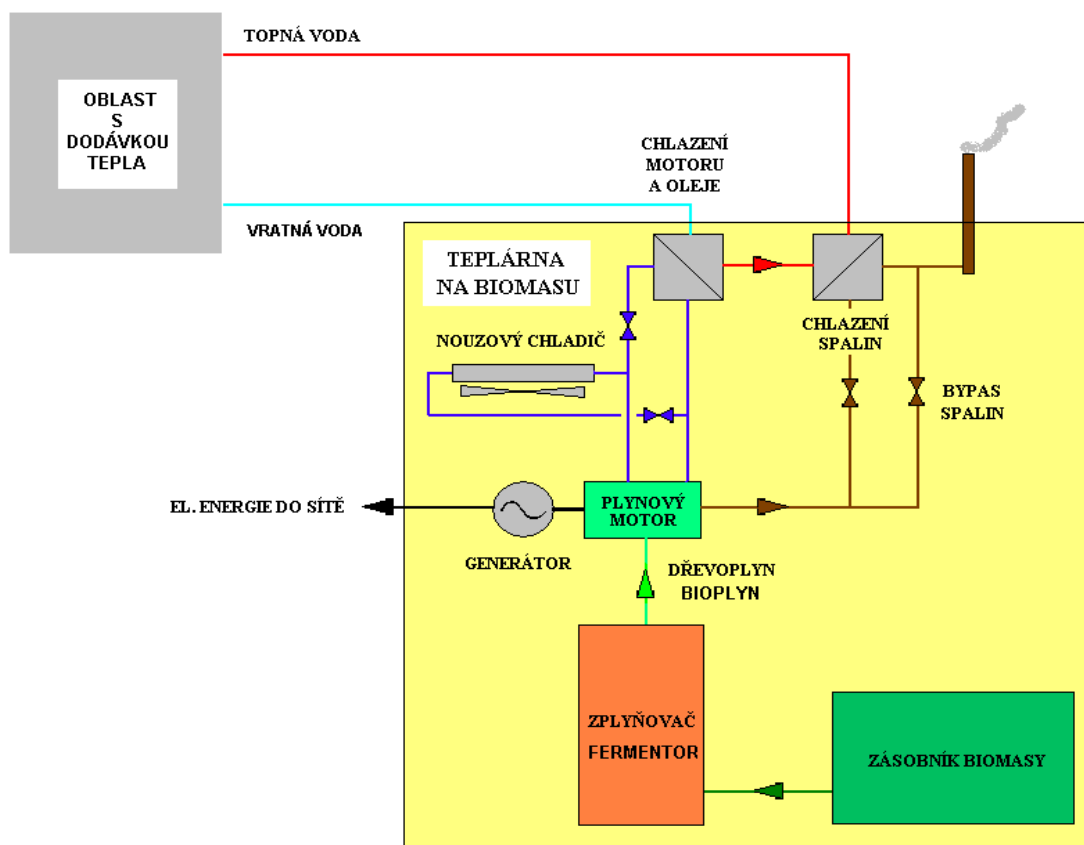
Dřevěné uhlí vzniklé ze štěpky jako celkového množství OB(D) by byl 173,125 mil. kg a jeho energetický potenciál 4,7090 PJ. Z pelet a obdobně i briket by toto množství bylo 623,25 mil. kg o energetickém potenciálu 16,9524 PJ.

5.3 Způsob výroby elektrické energie z OB(D)

Elektrickou energii z dendromasy lze vyrábět buď v elektrárnách (pouze výroba elektrické energie), nebo v teplárnách (kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie) [44].

Pro výrobu elektrické energie se používají vhodná zařízení, pracující na principu vhodného tepelného oběhu, které se vybírají podle toho, zda-li je biomasa spalována, nebo zplyňována.

Nejčastějším případem jsou bioteplárny vyrábějící tepelnou a elektrickou energii ze dřevní štěpky, metodou jejím zplyňováním. Výhodou oproti spalovací metodě je snadná regulace výkonu, nižší emise a vyšší účinnost [46].



Obr. 13. Schéma výroby elektrické energie a tepla z biomasy kogenerační jednotkou [45]

Zplyňovací zařízení je určeno výhradně pro čistou dendromasu, v podobě dřevní štěpky a peletek. Tuhé vstupní biopalivo s relativní vlhkostí vyšší než 15 % je vysušeno v teplovzdušné fluidní sušárně a následně zplyňováno při teplotě 700 - 900 °C ve zplyňovacím zařízení (speciální generátor plynu) na syntézní plyn tzv. dřevní bioplyn (dřevoplyn). Ten je po následném ochlazení a vyčištění spalován v kogeneračních jednotkách, složených z plynového motoru a generátoru (produkují současně tepelnou a elektrickou energii) [47].



Obr. 14. Zplyňovací jednotka a kogenerační jednotky [45]

Bioelektrárna o výkonu 650 kW
(Dobříšská bioelektrárna na zplyňování dřevní štěpky)

Bioelektrárna obsahuje tři kogenerační jednotky s doporučeným provozním výkonem 250 kW. Mimo elektrické energie se zde také vyrobí 750 kW tepelné energie za hodinu, která se dále využívá v provozu, nebo k prodeji [48].

V této bioelektrárně se za jednu hodinu vyrobí 650 kW elektrické energie (vystupující na svorkách generátoru), při spotřebě 840 kg dřevní štěpky s průměrnou výhřevností $8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (počáteční vlhkost před vysušením je 55 - 30 %). Účinnost výroby elektrické energie je 35%. Jako vstupní palivo se také používají dřevní pelety s výhřevností $16 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (vlhkost 8 - 12 %) kdy se pro výrobu výše zmíněné elektrické energie spotřebuje 475 kg za hodinu a účinnost procesu je 31%.

Obchodní cena 1 kg dřevní štěpky se aktuálně pohybuje okolo $75 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$. Pro výrobu 650 kWh elektrické energie při účinnosti 35 % je zapotřebí 840 kg dřevní štěpky o celkové energii 6,72 GJ. Náklady za palivo jsou tedy 504 Kč.

Obdobný výpočet lze vyjádřit také pro dřevní pelety.

Cena elektřiny se na trhu (pro rok 2011) pohybovala na hodnotě cca $675 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$. Přepočet z 650 kW je 2,34 GJ. Obrat je tedy 1579,5 Kč, z čehož pro uvedený výkon činní čistý zisk ve výši 1075,5 Kč a to pouze pro vyprodukovanou elektrickou energii. Vzniklá tepelná energie může být také ekonomicky zhodnocena. Je ovšem nutné odečíst náklady vzniklé provozem zařízení a celého procesu.

Za předpokladu, že by tyto náklady byly anulovány vlivem zisku z tepelné energie, tak celkový roční teoretický zisk produkcí elektrické energie činní přes 8 mil. Kč. návratnost investice je tedy v období několika málo nadcházejících let, podle toho jako cenu má celková technologie.

Teoretický návrh optimalizace termochemické přeměny OB(D) na místě těžby

Navrhl jsem možné postupy při procesu spalování OB(D) na místě těžby, vedoucí k efektivní přeměně energie na teplo a následně elektřinu, při nejnížší možné koncentraci vzniklých škodlivých spalin.

Jedná se o ideový způsob provedení, vycházející z mých dosavadních poznatků, který ovšem s největší pravděpodobností nebude nikdy realizovatelný, a to z důvodu vysokých investičních nákladů a problémů technického řešení.

- Pro rychlejší a efektivnější vysoušení vyprodukované OB(D), která je uložena v bezprostřední vzdálenosti místa pro následnou úpravu, bude vybudován sklad, který je alespoň částečně hermeticky uzavřen. Pro dokonalejší vysoušení budou instalovány odvlhčovače vzduchu společně se silikagelovým (pórovitým SiO_2) ložem.
- Pomocí vibračního pásového dopravníku (oddělení nečistot v podobě kamení a zeminy) je přímo ze skladu dopravován vysušený a částečně vyčištěný dřevní odpad na místo úpravy, kde se takto vzniklá dřevní hmota mechanicky dávkuje do kladivových drtičů (kvůli možnému obsahu nečistot by mohlo v případě sekaček dojít k tupení či zlomení nožů).
- Nadrcená OB(D) se z části uskladní buď v dalším skladu, nebo v prostoru prvního skladu (podle velikosti) a nebo je přímo dopravována v závislosti vzdálenosti místa spalování, které není přímo u skladiště OB(D) (z důvodu rizika požáru), ale také nedaleko od místa úpravy (snazší manipulace, a zkrácení doby přepravy)
- Termochemický způsob přeměny probíhá způsobem zplyňování (pro menší zatížení okolí ŽP v okolí zplyňovacího procesu se buduje zařízení, které má maximální výkon do 1MW, čili střední zdroj tepelné energie), kdy je OB(D) ve zplyňovací komoře skupensky přeměněna na dřevoplyn, který je následně spalován v plynovém motoru.
- Vzniklá tepelná energie (generovaný syntézní plyn spálený v plynovém motoru) se následně přemění na elektrickou energii v generátorech (obě operace probíhají zároveň za vzniku tepla a elektrické energie, tzv. princip kogenerace). Takto vzniklá energie se z části může pomocí rozvodné sítě použít pro potřeby zařízení potřebné pro její vznik, a také akumulovat do nabíjecích zařízení s následným možným prodejem.

- Dalším možným způsobem, jak by se efektivně dala energeticky zhodnotit OB(D) na místě těžby je vystavění uhliště s daným počtem karbonizačních pecí. Touto pyrolytickou metodou vzniká primérně dřevěné uhlí, které se dále prodává a pyrolýzní plyn, který se generuje na elektrickou energii v generátorech umístěných v bezprostřední blízkosti karbonizačních pecí. Vzniklá elektrická energie je pomocí lokálních rozvodů využita pro pohon zařízení předcházejících termochemickému procesu (osvětlení, dopravníky, štěpkovače).



Obr. 15. Uhliště s karbonizačními peci [43]

6. Závěr

Množství energeticky využitelné OB(D) vyprodukované při těžbě dřeva v lesích ČR pro rok 2012 bylo 2,77 mil. m³.

Tato hodnota vychází z metody odhadu množství OB(D) pro velkoplošnou těžbu dřeva, ze které vyplývá že množství OB(D) je vyjádřeno jako jedna třetina (cca 33 %) z celkové těžby dřeva. Z důvodu zachování biodiverzity a přirozené regeneraci porostů se v okolí místě těžby ponechává cca 50 % ze vzniklého dřevního odpadu. Zelená zpráva ministerstva zemědělství pro rok 2012 a další české statistické zdroje uvádí (narozdíl od ostatních mezinárodních zpráv) celkové množství vytěžené dendromasy bez kůry. Pro přesné vyjádření jsem převedl, pomocí koeficientů pro přepočet objemu hmoty s kůrou a bez kůry (pro jehličnaté dřeviny 0,90909 a pro listnaté porosty 0,86956) a znalosti složení druhu lesů (87 % jehličnanů a 13 % listnatých stromů z celkové těžby), celkové množství těžby dřeva bez kůry na množství vytěženého dříví s kůrou, které činilo 16,663 mil m³.

Stav těžby dřeva má v ČR, ale i ostatních státech EU, s přibývajícím dobou rostoucí trend. Zejména kvůli zvyšující se poptávce po dendromase jako tuhém biopalivu. Celková těžba dřeva závisí hlavně na nahodilé těžbě dřeva, tedy na výskytu nepříznivých vlivů (přírodní katastrofy, škůdci, atd.) v daném roce. Nejvyšší produkci těžby dřeva v EU vykazují severské země (Švédsko, Finsko, Francie a Německo). Důvodem je velikost států a míra zalesnění.

Energeticky využitelná OB(D), jejíž množství jsem určil pro rok 2012, se na místě těžby zpracovává pomocí multifunkčním strojům tzv. harvestorům, které OB(D) upraví (podle velikosti) a naskládá na hromady. Tyto hromady se nejčastěji zpracovávají na místě těžby pomocí štěpkovače, nebo drtiče, do podoby dřevní štěpky. Jedná se o prvotní tuhé dřevní biopalivo, které se v současné době používá (kvůli vysokému obsahu vlhkosti cca 55 - 30 % vody a tedy i poměrně nízké výhřevnosti kolem 8 - 12 MJ · kg⁻¹) hlavně jako součást spoluspalování s fosilními palivy a k přeměně na energeticky výhodnější produkty, zejména dřevní pelety a brikety. Ty jsou díky nízkému obsahu vlhkosti (6 - 12 %) a tedy i poměrně vysoké výhřevnosti (16,5 - 18,5 MJ · kg⁻¹) používány jako zdroj přímého spalování v nízko kapacitních tepelných kotlích, krbů a kamen rodinných domků. Mohou také nahrazovat vytápění hnědým uhlím u domů s vlastní kotelnou.

Dřevní štěrka je nejlevnější a její cena se pohybuje v rozmezí $75 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$. Její značnou nevýhodou je na rozdíl od např. černého uhlí nízká měrná objemová hmotnost ($250 - 350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Cena černého uhlí je oproti dřevní štěrce řádově vyšší (zhruba čtyřnásobně) cca $250 \text{ Kč} \cdot \text{GJ}^{-1}$, avšak jeho měrná hmotnost je $720 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a vlivem nízkému obsahu vlhkosti má také větší výhřevnost ($23 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). Náklady pro výrobu 650 kWh elektrické energie z dřevní štěrky je zapotřebí 504 Kč. Její obchodní cena se na trhu pohybuje okolo 1579,5 Kč. Zisk při jejím prodeji je tedy 1075,5 Kč. Návratnosti nabývá v několika málo letech, v závislosti na celkové ceně provozovaného zařízení. V praxi to však znamená že na výrobu 1 GJ tepelné energie ze dřevní štěrky je zapotřebí prostor o velikost $0,332 \text{ m}^3$ a na výrobu stejného množství energie z černého uhlí prostor o velikosti $0,060 \text{ m}^3$, tedy 5,5 násobek. Z důvodu nesnadného uložení dřevní štěrky a doby trvání růstu dřevní hmoty se tedy i vzhledem k velmi nízké ceně se pro velkoprodukcí tepelné a následně elektrické energie nepoužívá.

Energetické zhodnocení OB(D) se provádí pomocí suchých termochemických metod (spalování, zplyňování a pyrolýza). Spálením množství štěrky (v tepelném kotli s 85% účinností), jako celkového množství energeticky určené OB(D) v ČR pro rok 2012 by vzniklo primárně energie ve formě tepla o potenciálu 8,8294 PJ. Pro brikety by byl potenciál 38,1429 PJ a pelety 42,3810 PJ. Zplyňováním štěrky a mohl vzniknout dřevoplyn který po následném spálení uvolnil množství energie, které by činilo 7,8353 PJ. Pro brikety i pelety byl energetický potenciál podobný a to 31,1933 PJ. Pyrolýzou vzniká primárně jako energetický produkt dřevní uhlí. Energetický potenciál dřevěného uhlí vzniklého ze štěrky by činil 4,7090 PJ. Pro brikety a pelety by byl 16,9524 PJ.

Nejvyšší množství energie uvolněné z OB(D) ve formě tepla vzniká termochemickou metodou spalování.

Elektrická energie z dřevní dendromasy se získává metodou zplyňování. Kdy se vstupní tuhé biopalivo přeměňuje ve zplyňovací jednotce na syntézní dřevoplyn, který je v kogenerační jednotce nejprve spalován a poté generován v generátoru na elektrickou energii.

Při spalování dendromasy nevzniká, díky téměř nulovému obsahu síry, nežádoucí oxid siřičitý, který má za příčinu vznik kyselých dešťů. Další výhodou je výrazně nižší koncentrace skleníkových plynů (CO , CO_2), než u spalování fosilních paliv, díky přirozenému koloběhu uhlíku.

7. Seznam použité literatury

1. PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P.: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha, 2004. 288 s.
2. MURTINGER K., BERANOVSKÝ J.: *Energie z biomasy*. EkoWATT, ERA group spol. s.r.o.; Brno, 2006. 106 s.
3. Ministerstvo zemědělství - *Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a změně některých zákonů* [online]. Praha, 2012. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-165-2012-sb-o-podporovanych-zdrojich-energie-a-o-zmene-nekterych-zakonu>
4. Česká zemědělská univerzita v Praze: *Fotosyntéza* [online]. Praha, 2012. Dostupné z: <http://projects.czu.cz/ef/p3p1.html>
5. NOSKIEVIČ P.: *Biomasa a její energetické využití*. Praha, 1996. 68 s.
6. Ministerstvo životního prostředí České republiky - *Vyhláška č.5/2007 Sb., kterou se mění vyhláška 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy* [online]. Praha, 2006. Dostupné z: <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/3e4077e27f2d7a41c125726b003b36cb?OpenDocument>
7. JEVIČ P., HUTLA P., ŠEDIVÁ P.: *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů*. Praha, 2008. 133 s.
8. Green heart energy - *Biomasa* [online]. San Antonio, 2013. Dostupné z: <http://www.greenheartenergy.com/biomasa>
9. JANDAČKA J., MALCHO M.: *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina, 2007. 79 s.
10. QUASCHING V. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha, 2010. 296 s.
11. MALAŤÁK J. VACULÍK P. : *Biomasa pro výrobu energie*. Praha, 2008. 206 s.
12. STUPAVSKÝ V., KRATOCHVÍLOVÁ Z., HABART J., WANTULOK M.: *Zpracování lesních těžebních zbytků. CZ Biom - České sdružení pro biomasu* [online]. Praha, 2011. 40 s. Dostupné na internetu: <http://www.drevosrot.cz/soubor--17-.pdf>

13. Vítejte na Zemi - multimediální ročenka životního prostředí [online]. Energie z biomasy. Praha, 2013. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energie_z_biomasy&site=energie
14. KOLONIČNÝ J.: *Emise při spalování biomasy*. Biom - České sdružení pro biomasu [online]. Praha, 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>
15. SVOBODA L. aj.: *Stavební hmoty*. Praha, 2013. 950 s.
Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodah/sh/SH3v1.pdf>
16. CZ Biom - České sdružení pro biomasu: *Druhy biopaliv pro kotle na biomasu - pelety, brikety, štěpka*. [online]. 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-pelety-a-brikety>
17. CZ Silvarium - Informační server pro lesníky a myslivce. *Výklad pojmu "těžba"*. [online]. 2006.
Dostupné z: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-1-02/vyklad-pojmu-tezba>
18. FORESTRY SERVICES - Lesní poradna [online]. 2013.
Dostupné z: <http://www.forestry.cz/uvodni-stranka/tezba-dreva>
19. VESTERINEN P., ALAKANGAS E., LENSU T.: *Renewable Energy in Europe: Markets, Trends and Technologies*. Jyväskylä, 2010. 288 s.
20. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem [online]. 2012. Dostupné z: <http://www.vesmir.cz/files/file/fid/6513/aid/9119>
21. Databáze Eurostatu [online] Dostupné z: <http://apl.czso.cz/pll/eutab/html.h?ptabkod=tsdnr520>
22. OCHODEK T., KOLONIČNÝ J., JANÁSEK P.: *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava, 2006. 126 s.
23. Informační servis Lesů ČR. *Lesní těžba* [online]. Hradec Králové, 2013.
Dostupné z: <https://www.lesy-cr.cz/drevo/lesni-tezba/Stranky/default.aspx>
24. Ministerstvo zemědělství: *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2012*. Praha, 2013. 132 s.
Dostupné z: <http://www.uhul.cz/ke-stazeni/informace-o-lese/zelene-zpravy-mze>
25. Český statistický úřad [online]. 2012. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/8E0034FCC1/\\$File/2141120102.pdf](http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/t/8E0034FCC1/$File/2141120102.pdf)

26. Ministerstvo zemědělství - Vyhláška č. 84/1996 Sb., o lesním hospodářském plánování [online]. Praha, 2009. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-1996-84-lesnictvi.html
27. SIMANOV V.: *Výroba, zpracování a využití biomasy*. Praha, 2008. 32 s. Dostupné z: http://www.rarsm.cz/download/cd3/vyroba_zpracovani_vyuziti_biomasy.pdf
28. STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T.: *Dřevní štěpka - zelená, hnědá, bílá*. Biom - České sdružení pro biomasu [online]. Praha, 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/drevni-stepka-zelena-hneda-bila>
29. STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T.: *Pelety z biomasy - dřevěné, rostlinné, kůrové pelety*. Biom - České sdružení pro biomasu [online]. Praha, 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pelety-z-biomasy-drevene-rostlinne-kurove-pelety>
30. STUPAVSKÝ, V., HOLÝ, T.: *Brikety z biomasy - dřevěné, rostlinné, směsné brikety*. Biom - České sdružení pro biomasu [online]. Praha, 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-biomasy-drevene-rostlinne-smesne-brikety>
31. CZ Biom - České sdružení pro biomasu: *Mapa - pelety, brikety, štěpka a kotle na biomasu*. [online]. 2009. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/mapa-pelety-brikety-stepka>
32. WANTULOK M., VYTEČKA L.: *Zkušenosti s výrobou lesní energetické štěpky a možnosti rozvoje trhu s ní*. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum. Sborník příspěvků konference „Perspektivy energetického využití biomasy“. Olomouc, 5. 10. 2011.
33. OCHODEK T., KOLONIČNÝ J., JANÁSEK P.: *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava, 2006. 126 s.
34. LIBRA M., POULEK V.: *Zdroje a využití energie*, ČZU v Praze, 2007. 141 s.
35. ŠAFAŘÍK, D.: *Současná situace trhu s lesní energetickou štěpkou a prognóza vývoje v kontextu návrhu nové státní energetické koncepce České republiky*. Biom - České sdružení pro biomasu [online]. Praha, 2012.
- Dostupné na internetu: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/soucasna-situace-trhu-s-lesni-energetickou-stepkou-a-prognoza-vyvoje-v-kontextu-navrhu-nove-statni-energeticke-koncepce>

36. MAXA D.: *Výhřevnost*. VŠCHT - Petroleum cz [online]. Praha, 2007. Dostupné z: <http://www.petroleum.cz/slovník.aspx?pid=117>
37. SIMANOV V.: *Dříví jako energetická surovina: Možné způsoby energetického využívání těžebního odpadu a dalších opomínaných zdrojů dříví*. Praha, 1993, 116 s.
38. JOHANSSON, G., WERNIUS, S.: *Whole-tree utilization: Papers from conference in Stockholm March 27, 1974*. 121 s.
39. HRUŠKA K.: *Jak se měří dřevo*. BSP holding cz [online]. Ostrožská Nová Ves, 2010. Dostupné z: <http://www.bspholding.cz/jednotky.html>
40. MURTINGER K. Dřevo a jeho spalování. Topení dřevem [online], 2010. Dostupné z: <http://www.topenidrevem.cz/index.php?page=clanek&cid=4524cab599676>
41. VŠB-TUO - Katedra energetiky, Fakulta strojní.: *Spalování, zplyňování*. Ostrava, 2013. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Spalovani.pdf a http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/Zplynovani.pdf
42. JÍLKOVÁ L., CIAHOTNÝ K., ČERNÝ R.: *Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů*. [online]. Praha, 2012. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/16>
43. Mendlova univerzita v Brně: *Fotosyntéza* [online]. Brno, 2012. Dostupné z: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/inovace/Pridruzena_lesni_vyroba/drevene_uhli_Inobio.pdf
44. LYČKA, Z.: *Dřevní peleta 2 - spalování v malých zdrojích tepla*. Krnov, 2011. 72 s. Dostupné na internetu: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/1-text-ii.pdf>
45. PŘIBYL, E.: *Výroba elektrické energie z biomasy*. Praha, 2006. 39 s. Dostupné na internetu: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/07.pdf>
46. Alternativní zdroje energie - výroba energie z biomasy [online]. Dostupné na internetu: <http://www.alternativni-zdroje.cz/obnovitelne-zdroje.htm>
47. air technic - výroba elektrické energie zplyňováním biomasy [online]. Praha, 2011 Dostupné na internetu: <http://airtechnic.cz/vyroba-elektricke-energie-zplynovanim-biomasy.html>
48. ZÁHOŘÍK P: *Technická specifikace bioelektrárny o výkonu 650 kW_{EL} na zplyňování dřevné štěpky*. Praha, 2012. Dostupné na internetu: <http://airtechnic.cz/vyroba-elektricke-energie-zplynovanim-biomasy.html>

8. Seznam obrázků, grafů, tabulek a rovnic

8.1 Seznam obrázků

- Obr. 1. Uzavřený cyklus uhlíku při udržitelném energetickém využívání biomasy
- Obr. 2. Harvester Timberjack s akumulativní štípací hlavicí
- Obr. 3. Hromada zbytkové dendromasy
- Obr. 4. Nákladní automobil se svazkovaným dřevem
- Obr. 5. Bubnová, disková, šneková (spirálová) sekačka a kladivový drtič
- Obr. 6. Dřevní štěrka vyrobená nožovým štěpkovačem
- Obr. 7. Dřevní štěrka vyrobená kladivovým drtičem
- Obr. 8. Dřevní pelety vlevo bez kůry, vpravo s kůrou
- Obr. 9. Dřevěné brikety
- Obr. 10. Mapa produkce tuhých biopaliv v ČR
- Obr. 11. Energetické toky probíhající při spalovacím procesu v kotli pro tuhá paliva
- Obr. 12. Rozdělení vyprodukované biomasy
- Obr. 13. Schéma výroby elektrické energie a tepla z biomasy kogenerační jednotkou
- Obr. 14. Zplyňovací jednotka a kogenerační jednotky
- Obr. 15. Uhlíště s karbonizačními peci

8.2 Seznam grafů

- Graf 1. Emisní faktory CO přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů
- Graf 2. Emisní faktory CO₂ přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů
- Graf 3. Emisní faktory NO_x přepočtené na výhřevnost paliva při spalování paliva v kotlích malých výkonů
- Graf 4. Vývoj těžby dřeva v ČR a sousedících státech
- Graf 5. Podíl nahodilé a mýtní těžby dřeva v letech 2007 a 2011
- Graf 6. Množství těžby podle typu dříví v jednotlivých letech
- Graf 7. Procentuální zastoupení druhů stromů ČR v roce 2011
- Graf 8. Závislost výhřevnosti dendromasy na relativní (1) a absolutní vlhkosti (2)

- Graf 9. Množství energie vzniklé spálením (s 85% účinností) jednotlivých biopaliv jako celkového množství OB(D) v ČR pro rok 2012
- Graf 10. Množství energie vzniklé spálením dřevoplynu v plynovém motoru (s 85% účinností) vzniklého z jednotlivých biopaliv jako celkového množství OB(D) v ČR pro rok 2012
- Graf 11. Celkové množství energie vzniklé spálením dřevěného uhlí z jednotlivých druhů tuhých biopaliv v ČR pro rok 2012

8.3 Seznam tabulek

- Tab. 1. Množství těžby dřeva vybraných států EU v jednotlivých letech
- Tab. 2. Množství těžby dřeva podle typů stromů a těžby v jednotlivých letech
- Tab. 3. Množství těžby dřeva podle druhů stromů v jednotlivých letech
- Tab. 4. Vlastnosti a cena jednotlivých druhů paliv
- Tab. 5. Typ a způsob získávání energie obsažené v biomase
- Tab. 6. Výhřevnost a složení dendromasy v porovnání s vybranými fosilními palivy
- Tab. 7. Příklady dendromasy využitelné jako palivo
- Tab. 8. Odhad množství vyprodukované OB(D) vzniklé velkoplošnou těžbou dřeva pro vybrané státy EU v jednotlivých letech a její procentuální nárůst/pokles v porovnání s rokem 1990

8.4 Seznam rovnic

- A. Rovnice fotosyntézy
- B. Rovnice spalování
- C. Rovnice zplyňování
-
1. Rovnice výpočtu obsahu vlhkosti v dendromase
2. Rovnice výpočtu účinnosti spalovacího procesu

9. Seznam zkratek

VŠB-TUO	Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava
BM	biomasa
OBM (DM)	odpadní biomasa (dendromasa)
ČR	Česká republika
EU	Evropská unie
ŽP	životní prostředí
PJ	petajoule (10^{15} joule)
EJ	exajoule (10^{18} joule)
mm	milimetr
kg	kilogram
m^3 s k.	metr krychlový s kůrou
m^3 b. k.	metr krychlový bez kůry
MPa	megapascal (10^6 pascalů)
MWh	megawatthodina (10^6 watthodin)
$Kč \cdot GJ^{-1}$	koruna za jeden gigajoule (10^9 joule)
$kg \cdot dm^{-3}$	kilogram na jednem decimetr krychlový (10^{-3} metrů krychlových)
$MJ \cdot kg^{-1}$	megajoule (10^6 joule) na jeden kilogram